مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

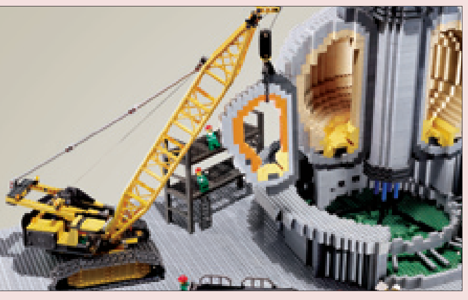


المجلد 28 ـ العددان 12/11
نوفمبر/ ديسمبر 2012

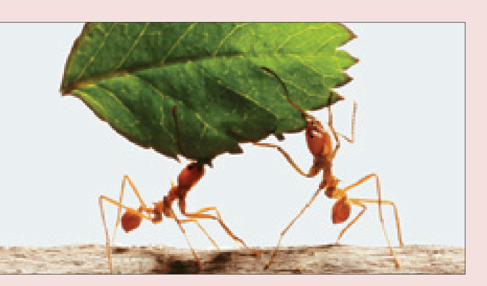
SCIENTIFIC AMERICAN
November / December 2012

دور البكتيريا النافعة في تقوية جهازنا المناعي وأثر المضادات الحيوية في إضعاف هذا الدور.

العددان 295 /296 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



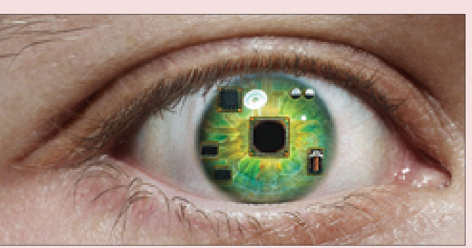
الاندماج النووي... جهود لإنتاج طاقة غير محدودة



لماذا نساعد



الرياح مصدر للطاقة المتجددة

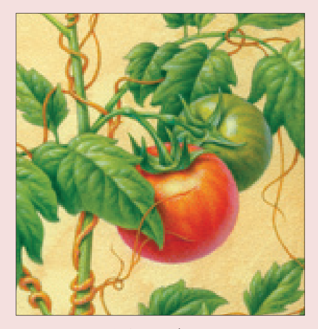


طب الغد سيمتد إلى حماية الصحة

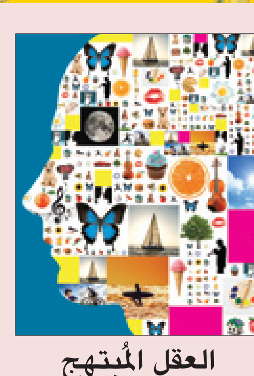
كشّاف موضوعات مجلة العلوم 2012



أي الأنواع سيستمر في الحياة؟



ماذا يشم النبات



العقل المُبتهج







تحت رعاية سمو أمير دولة الكويت

يُعقد

المؤتمر الدولي

تحت شعار

المهندسون الشباب قادة المستقبل

Young Engineers/Future Leaders

10 إلى 12 فبراير 2013

تنظمه

جمعية المهندسين الكويتية

بالتعاون مع

الاتحاد الدولي للمنظمات الهندسية

ومنظمة

«مهندسون بلا حدود»

سيركز المؤتمر على الموضوعات التي تهم المهندسين الشباب، كما سيناقش قضاياهم من خلال المحاور الثلاثة الآتية :

- تفعيل دور الشباب وإثراء مهاراتهم في إدارة المشروعات الهندسية وتحمُّل مسؤولياتها .
- دعم العلاقات بين كليات الهندسة ومختلف القطاعات الصناعية، وكذلك تحفيز الشباب على الانخراط في المجالات الهندسية والتكنولوجية.
- استحداث قاعدة معلومات عالمية للناشطين الشباب من مهندسين وتكنولوجيين.

موقع المؤتمر على الإنترنت

www.wfeo.net

Facebook

Young Engineers/Future Leaders (YE/FL)

Twitter

@wfeo_ye/fl

صدر حديثا عن

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي (*)

إدارة الثقافة العلمية

دليل
جسم الإنسان
Guide to the HUMAN BODY(1)

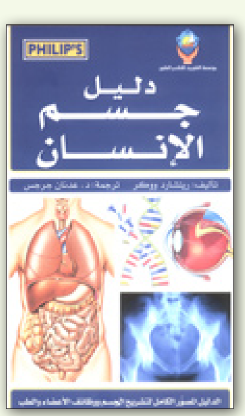
تأليف

Prof. Richard Walker

ترجمة

د. عدنان جرجس جرجس





إنه دليل مصور كامل لجسم الإنسان ولوظائف أعضائه. ويعد كتابا منهجيا تأسيسيا للطلبة والمرضين والمسعفين.

وهذه الطبعة الجديدة من هذا الدليل محدَّثة بدقة وإحكام لتتضمن آخر التطورات العلمية، في جملتها: المخ – الأجهزة التناسلية – الجينات – الوراثة.

يحتوي الكتاب في **قسمه الأول** دليلا مصورا لتشريح جسم الإنسان ولوظائف أعضائه، مع شروح وافية لأجهزته؛ وفي **قسمه الثاني** موسوعة طبية موجزة، معززة بالصور الملونة وتشتمل على ما يزيد على 600 مدخل لوصف وتعريف الحالات الطبية وعناصر البيولوجيا البشرية.

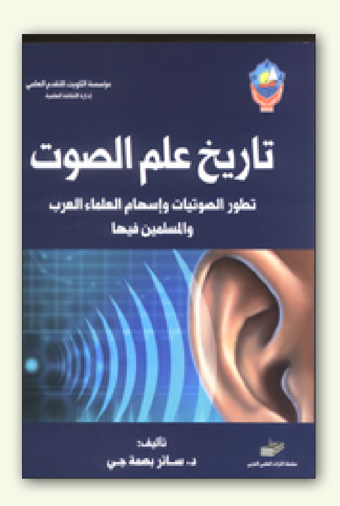
(١) طبعة: philip's 2008



تاريخ علم الصوت
تطور الصوتيات وإسهام العرب والمسلمين فيها

ضمن «سلسلة التراث العلمي العربي»

تأليف : **د. سائر بصمة جي**



يسلط هذا الكتاب الضوء – دراسة وتحليلا – على إنجازات العلماء العرب والمسلمين وعلى النتائج التي توصلوا إليها في مجال الصوتيات (فرع العلوم الفيزيائية الذي يهتم بدراسة الصوت من الناحية الفيزيائية)؛ ثمّ يقارن الكتاب تلك الإنجازات بإنجازات العلماء الذين سبقوهم أو لحقوا بهم، وذلك في محاولة للإجابة عن السؤالين:

- هل حقق العلماء العرب والمسلمون تقدما ملموسا على المعرفة اليونانية في ذلك المجال؟
- وهل سبق هؤلاء العلماءُ الأوروبيين في بعض جوانب ذلك المجال؟

وقد تضمن الكتاب الأبواب الثلاثة التالية:

الباب الأول (في ثلاثة عشر فصلا): علم الصوت وإسهامات العرب والمسلمين فيه.

الباب الثاني (في ستة فصول): ظواهر صوتية.

الباب الثالث (في سبعة فصول): بعض فروع علم الصوت وتطبيقاته.

ويقع الكتاب في 478 صفحة من الحجم المتوسط.

(*) ص.ب: 36252 الصفاة 31131 ـ دولة الكويت
بدالة المؤسسة: 00187222 (569+) – هاتف البرنامج: 55187222 (569+)
فاكس: 15187222 (569+) – البريد الإلكتروني: wk.gro.safk@rohtua
الموقع الإلكتروني: gro.safk.www



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 28 ـ العددان 12/11 (2012)
296/295

الهيئة الاستشارية

مراسلات التحرير

توجه إلى: رئيس تحرير العلوم
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق – الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
عنوان البريد الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw – موقع الوِب: www.oloommagazine.com
هاتف: 22428186(965+) – فاكس : 22403895(965+)

الإعلانات

في الوطن العربي يتفق عليها مع قسم الإعلانات بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O.Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	5.4	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	2765	ليرة	Cyprus	CI	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	1497	شلن	ليبيا	1.7	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	1964	دينار	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	105	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	206	فرنك	فلسطين	1.25	U.S $	موريتانيا	889	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

■ **مراكز توزيع العلوم في الأقطار العربية** (***انظر الصفحة 81***).

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة: تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

بزيارة موقع المجلة **www.oloommagazine.com** يمكن الاطلاع على مقالات الإصدارات المختلفة اعتبارا من العدد 1995/1.
كما يمكن الاطلاع على قاموس مصطلحات العلوم باتباع التعليمات الواردة على الصفحة الرئيسية للموقع.

يمكن تزويد المشتركين في العلوم بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:
1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and Formats ثم اضغط OK

شارك في هذا العدد

سعيد الأسعد
علي الأمير
عمر البزري
أحمد بشارة
هيام بيرقدار
ابتسام حمد
مصطفى حموليلا
عدنان الحموي
زياد درويش
سليم الذكي
قاسم سارة
حازم سومان
وليد الشارود
إيهاب عبدالرحيم
سارة العتيقي
فؤاد العجل
إياد غانم
سحر الفاهوم
ليلى الموسوي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

4



طب

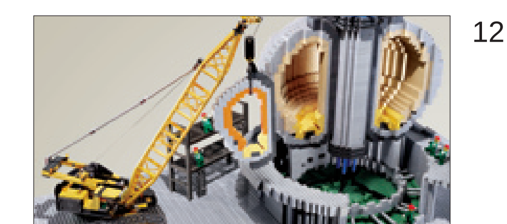
شبكة التواصل الاجتماعي النهائية

<J. أكيرمان>

وليد الشارود - هيام بيرقدار & التحرير

يمكن للبكتيريا الصديقة التي تعيش في أجسامنا وعلى بشرتنا أن يكون لها تأثير بالغ في صحتنا.

12



تقانة

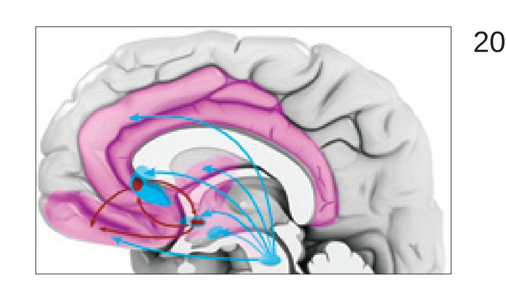
قِطَعُ الاندماج النووي المفقودة

<G. برومفيل>

مصطفى حموليلا - أحمد بشارة & التحرير

عقبات عميقة تواجه التجربة الدولية لاختبار الاندماج النووي من أجل إنتاج طاقة غير محدودة.

20



علوم عصبية

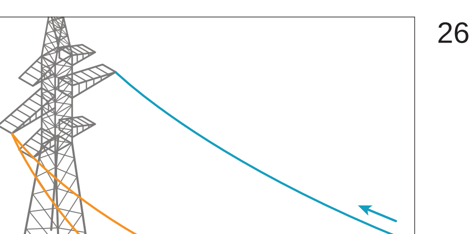
العقل المُبتهج

<M. L. كرينگلباخ> – <K. C. بيريدج>

علي الأمير - عدنان الحموي

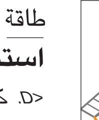
يقوم علماء الجهاز العصبي بتحريض دارات الدماغ التي تمنحنا البهجة والتي لها أيضا دور في الإدمان والاكتئاب.

26



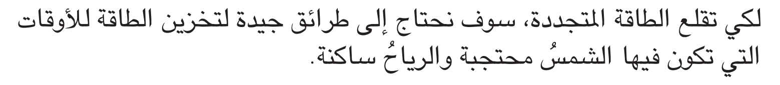
طاقة

استثمار الرياح مصدرا للطاقة المتجددة



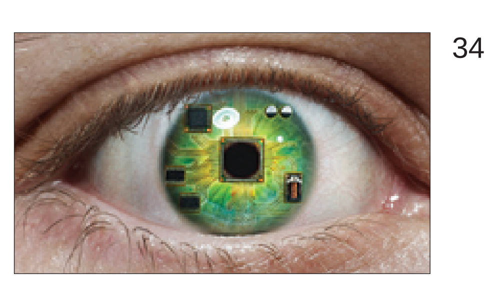
<D. كاستلفتشي>

سعيد الأسعد - سليم الذكي & التحرير



لكي تقلع الطاقة المتجددة، سوف نحتاج إلى طرائق جيدة لتخزين الطاقة للأوقات التي تكون فيها الشمسُ محتجبة والرياحُ ساكنة.

34



تقرير خاص: الصحة مستقبلا

طب الغد

قاسم سارة - زياد درويش & التحرير

استعد لمرحلة تتوافر فيها أجهزة لِسَلْسَلة الجينات تتميز بكونها أسرع أداء وأرخص ثمنا، وشيبات يمكنها استعادة الإبصار، وجهائز يمكن زرعها لمراقبة صحتِك، وكذلك لاختبارات دموية تساعد على تشخيص الأمراض النفسية.

42



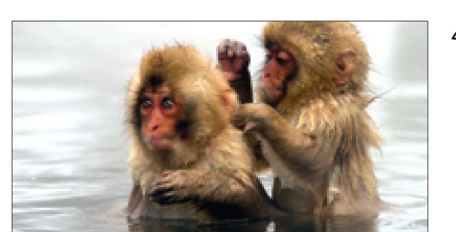
تنوع حيوي

أي الأنواع سيستمر في الحياة؟

<M. نيگهوس>

إياد غانم - ليلى الموسوي

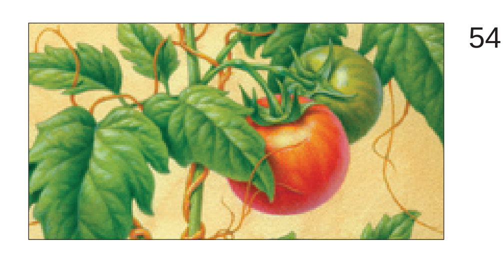
كالأطباء في ميدان معركة حربية، على المهتمين اليوم بالحفاظ على الطبيعة أن يحددوا تماما المخلوقات التي يجب الحفاظ عليها وتلك التي يمكن إغفالها.

48 

تطور
لماذا نساعد
<M. A. نواك>

فؤاد العجل - عدنان الحموي

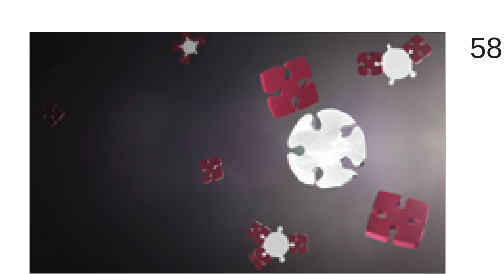
على طول المسار التطوري للإنسان العاقل، كان للتعاون دور كبير بقدر ما كان للتنافس.

54 

علم النبات
ماذا يشم النبات
<D. شاموفيتس>

ابتسام حمد - سارة العتيقي & التحرير

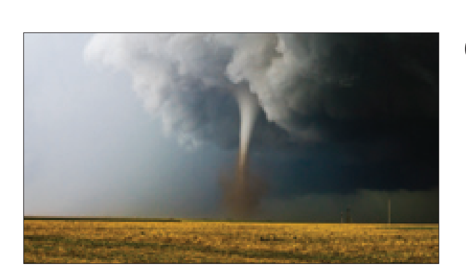
بدأ علماء النبات بتعرف عدد ضخم من الطرق التي تتأثر من خلالها نبتةٌ بنبتةٍ أخرى.

58 

طب
صدّ هجوم ڤيروس العوز المناعي البشري (HIV)
<C. جون> – <B. ليڤاين>

إيهاب عبدالرحيم - سحر الفاهوم & التحرير

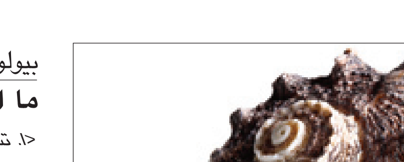
شرع العلماء في إجراء تجارب على البشر لاختبار معالجة تبدو واعدة لإزالة ڤيروس العوز المناعي البشري من الجسم.

66 

علم الأرصاد الجوية
عين أقدر على العاصفة
<J. لوبكينكو> – <J. هير>

سليم الذكي - فؤاد العجل & التحرير

رادارات وسواتل وحواسيب قد تمكّن قريبا خبراء الأرصاد الجوية من التنبؤ بالأحوال الجوية القاسية قبل وقوعها بوقت كافٍ لتحذير المواطنين وإنقاذ المزيد من الأرواح.

74 


بيولوجيا مجتمعية
ما الحياة إلا لعبة صَدَفة
<I. تشيس>

عمر البزري - عدنان الحموي

كما هو حال البشر، فإن **السلطعون الناسك** hermit crab وحيوانات أخرى تتداول ما كان آخرون قد استغنوا عنه.

78 

طاقة
عنفة ريح طائرة
<D. بيلو>

حازم سومان - عدنان الحموي

تُحوِّل عنفة ريح طائرة نسمات البحر إلى كهرباء.

81 **تقدمات**

■ تبرّع بدماغك، تُوفّر مالك

82 **كشّاف موضوعات مجلة العلوم 2012**

شبكة التواصل الاجتماعي النهائية(*)

الباحثون الذين يدرسون البكتيريا الصديقة التي تعيش في داخلها، بدؤوا يعرفون من المسؤول عنها – أهو الميكروبات أم البشر؟

<J. أكيرمان>

في وقت ما، اعتقد علماء البيولوجيا أن أجسام البشر ما هي إلا جزر فسيولوجية منعزلة ذات قدرة تامة على تنظيم أعمالها الداخلية. فقد قامت أجسامنا بصنع جميع الإنزيمات اللازمة لتكسير الغذاء واستخدام ما به من عناصر مغذية في الإمداد بالطاقة وإصلاح الأنسجة والأعضاء. ومن ثم فإن الإشارات الصادرة عن الأنسجة الخاصة بنا، أَمْلَتْ على الجسد حالته من حيث إحساسه بالجوع أو الشبع. واستطاعت الخلايا المتخصصة بجهازنا المناعي أن تعلّم نفسها كيفية تعرف الميكروبات – **المُمْرِضات** pathogens – ومهاجمتها مع تجنبها، في الوقت نفسه، إيذاء الأنسجة الخاصة بنا.

إلا أنه خلال الأعوام العشرة الأخيرة تقريبا، بيّن لنا الباحثون أن جسم الإنسان ليس بجزيرة منعزلة تتميز بالاكتفاء الذاتي كليا. إنه يشبه بدرجة أكبر، **نظاما بيئيا**[١] معقدا – أو **شبكة تواصل اجتماعي**[٢] – تحتوي على تريليونات من الخلايا البكتيرية و**المتعضيات الميكروية** microorganisms الأخرى التي تستوطن الجلد والمناطق التناسلية والفم وبخاصة الأمعاء. وفي الحقيقة، فإن أغلب الخلايا الموجودة في جسم الإنسان ليست بشرية تماما. إذ يتجاوز عدد الخلايا البكتيرية في جسم الإنسان عشرَ مراتٍ عددَ الخلايا البشرية. وأكثر من ذلك، فقد تبيَّن أن هذا المجتمع المختلط من الخلايا الميكروبية والجينات الموجودة بها، والتي يطلق عليها مجتمعة اسم «**البنية الميكروبية**»[٣]، لا يمثل تهديدا لنا، بل إنه قد يساعدنا على نحوٍ فعال، على إنجاز عمليات فسيولوجية أساسية – تمتد من الهضم، إلى النمو، إلى المناعة الذاتية. وهذا عمل رائع للجسم البشري.

لقد حقق علماء البيولوجيا تقدما جيدا في تمييز صفات أكثر الأنواع الميكروبية انتشارا في الجسم. كما بدؤوا حديثا بتعرف التأثيرات الخاصة لهذه الكائنات المقيمة في جسم الإنسان. وبقيامهم بذلك، فإنهم يكتسبون رؤية جديدة للكيفية التي تعمل بها أجسامنا، وللأسباب التي تؤدي إلى زيادة حدوث أمراض معاصرة معينة، مثل **البدانة**[٤] و**اضطرابات المناعة الذاتية**[٥].

واحد من كثيرين(**)

عندما يفكر الناس في وجود الميكروبات بالجسم، فإنهم، عادة، يعتقدون أنها مُمْرِضات. وبكل تأكيد، فإن الباحثين ركزوا اهتمامهم، وقتا طويلا، على تلك **الكائنات الصغيرة المؤذية**[٦] فقط، وتجاهلوا الأهمية المحتملة للأنواع الحميدة منها. ويرجع

(*) THE ULTIMATE SOCIAL NETWORK
(**) OUT OF MANY, ONE
(١) ecosystem
(٢) social network
(٣) microbiome
(٤) obesity
(٥) autoimmune disorders
(٦) harmful bugs

باختصار

عدديا، تتفوق الخلايا البكتيرية في الجسم على الخلايا البشرية وذلك بمعدل 10 إلى 1. إلا أن الباحثين بدؤوا مؤخرا بوصف الأدوار المفيدة التي يمكن أن تؤديها هذه الميكروبات في تقوية الصحة.

بعض من هذه البكتيريا لديه جينات **تكود** encode لمركبات نافعة لا يستطيع الجسم بناءها بنفسه. أما البكتيريا الأخرى فتبدو وكأنها تدرب الجسم لكي لا يتفاعل بشكل زائد مع الأخطار الخارجية.

يسمح التقدم في الحوسبة وتحليل التتابعات الجينية للباحثين بأن يكونوا فهرسا مفصلا لجميع الجينات البكتيرية المكونة لما يسمى بالبنية الميكروبية.

ولسوء الحظ، فإن التدمير غير المتعمد للميكروبات النافعة باستخدام المضادات الحيوية، وذلك من بين أشياء أخرى، قد يؤدي إلى زيادة في حالات الإصابة باضطرابات المناعة الذاتية والبدانة.



المؤلفة
Jennifer Ackerman
<أكيرمان> هي كاتبة علمية حصلت على عدة جوائز وهي مؤلفة كتاب «آه-تشو! الحياة غير المعتادة لإصابتك بالبرد المعتاد» (صدر في عام 2010 عن دار نشر Twelve). وهي تقوم حاليا بإعداد كتاب عن ذكاء الطيور.

السبب في ذلك، كما يرى <K. S. مازمانين> [من **معهد كاليفورنيا للتقانة**[١]]، إلى رؤيتنا غير الدقيقة للعالم. فهو يقول: «إن **إحساسنا الزائد بأهميتنا**[٢] أخذنا إلى الوراء: حيث كنا نميل إلى الاعتقاد أن لدينا جميع الوظائف التي نحتاج إليها لصحتنا. ولكن بما أن الميكروبات غريبة عنا، وبما أننا نكتسبها خلال معيشتنا، فإن هذا لا يعني أنها، على أي نحو، أقل من أن تكون جزءا أساسيا منا».

من المؤكد أن لدى جميع البشر «بنية ميكروبية» منذ المراحل المبكرة من حياتهم، وذلك على الرغم من أنهم لا يبدؤون بها عند الميلاد، علما بأن كل فرد يكتسب تجمعا من **الكائنات الميكروبية المتعايشة**[٣] من البيئة المحيطة. فالرحم لا يحتوي طبيعيا على البكتيريا، ولذلك فإن المواليد الحديثي الولادة يبدؤون حياتَهُمْ كائناتٍ أحادية معقمة. ولكن بمرورهم في قناة الولادة، فإنهم يلتقطون بعضا من الميكروبات المتعايشة في الأم، والتي تبدأ بالتضاعف بعد ذلك. كذلك، فإن الرضاعة من الثدي وتناقل المولود بين أيدي الآباء والأجداد، والأشقاء والأصدقاء الفخورين به – وذلك بخلاف الاتصال المعتاد بملاءات السرير، والبطانيات، وحتى الحيوانات الأليفة بالمنزل – تشارك جميعها، وبسرعة، في تكوين **فلك متمدد**[٤] من الميكروبات. وبنهاية فترة الرضاعة تكون أجسامنا داعمة لوجود أحد أكثر النظم البيئية الميكروبية تعقيدا على سطح هذا الكوكب.

خلال الأعوام الخمسة الأخيرة أو نحوها، أجرى العلماء أبحاثا لمعرفة طبيعة هذا النظام البيئي، وهذه مهمة صعبة إلى حد بعيد. فالخلايا البكتيرية في الأمعاء، على سبيل المثال، تطورت لكي تنمو في بيئة **الأمعاء**[٥] المزدحمة والخالية من الأكسجين، ولذلك فإن الكثير من الأنواع البكتيرية لا يمكنها المقاومة جيدا لكي تظل حية في المساحات المتسعة في **طبق بتري**[٦]. إلا أن الباحثين استطاعوا الالتفاف حول هذه المشكلة بدراستهم **التعليمات الجينية (الوراثية)**[٧] في سلاسل **الدنا** DNA و**الرنا** RNA، حيث يمكن التعامل مع الدنا والرنا في ظروف البيئة المختبرية المعتادة والمحتوية على الأكسجين، ومن ثم فإن الباحثين يستطيعون أخذ عينات ميكروبية من الجسم، ويستخلصون منها **المادة الجينومية**[٨]، ثم يقومون بتحليل النتائج.

لقد اتضح أن لكل نوع من البكتيريا المتعايشة في الجسم **توقيعا**[٩] خاصا به. ويتمثل ذلك بنسخةٍ خاصة لكل جين (يطلق عليه جين الرنا الريبوسومي 16S)،

(١) California Institute of Technology
(٢) narcissism
(٣) commensals: مشتقة من العبارة اللاتينية «المشاركون في مائدة» sharing a table.
(٤) expanding ark
(٥) gut
(٦) petri dish: يُستخدم «طبق بتري» في تنمية مزارع الخلايا.
(٧) genetic instructions
(٨) genomic material
(٩) signature

والـــذي **يكــود** codes لجـــزيء معين مـــن الرنـــا يوجد في **الريبوســومات**[1]، التـــي تعمل كآلات لتصنيـــع البروتين في الخلايا. وعن طريق تحديـــد تتابعات النيوكليوتيدات في هذا الجين، يمكن للعلماء إنتاج **فهرس**[2] لوصف البنية الميكروبية بكاملها في الإنســـان. وبهذه الطريقة، يستطيع العلماء جمع معلومات عن الأنواع الميكروبية التي قد توجد في أجســـامنا، وعـــن كيفية اختلاف التوليفـــة الدقيقة من هـــذه الأنواع من شخص إلى آخر.

والخطـــوة التالية هي أن يُجرى تحليـــل الجينات الأخرى في التجمعات الميكروبية لتحديد النشـــيط منها داخل أجسام البشر، والوظائف التي يقوم بها. ومرة أخرى، فإن إنجاز هذا الإجراء الروتيني هو أمر بالغ الصعوبة بســـبب العدد الهائل من الأنواع الميكروبية واختلاط الجينات الخاصة بها بعضها ببعض عنـــد اســـتخلاصها. إن تقدير وجود جـــين بكتيري معـــين في حالة نشـــطة (أي يمكن التعبير عنه) في الجســـم هو أمر بســـيط نســـبيا، ولكن ليس من الســـهل معرفة النوع البكتيـــري الذي ينتمي إليه هذا الجين. ولحســـن الحظ، فإن تطوير أجهزة حاســـوبية عالية الكفاءة، وأجهزة عالية السرعة لتحديد **التتابعـات** النيوكليوتيدية في **الجينـات**[3] وذلك في العقـــد الأول من القرن الحادي والعشـــرين، أدى إلى تحويل ما كان يوما ما مهمة مســـتحيلة في التصنيف والتحليل، إلى مجرد أمر بالغ معقد جدا.

وقـــد قامت مجموعتـــان بحثيتان مســـتقلتان من العلماء، إحداهما في الولايات المتحدة الأمريكية والأخرى في أوروبا، بالاستفادة من هذه التقنية الجديدة في تقدير أعداد الجينات البكتيرية في جســـم الإنســـان. ففي بداية عام 2010 نشـــرت المجموعة الأوروبية تقريرها **الإحصائي**[4] للجينات الميكروبية في الجهاز الهضمي للإنسان – حيث قُدرت بنحو 3.3 مليون جين (ناتجة من أكثر من 1000 نوع ميكروبي) – وهو ما يمثل 150 ضعفا لعدد الجينات الموجودة في جينوم الإنسان، التي يتراوح عددها ما بين 000 20 و 000 25 جين.

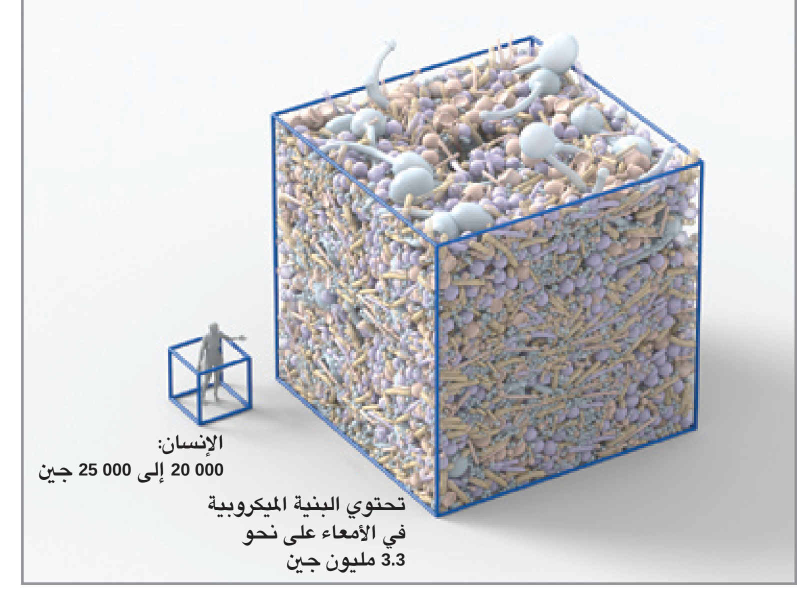
لقد نتج من الدراسة البحثية في طبيعة البنية الميكروبية للإنســـان عدة مفاجآت؛ فعلى سبيل المثال، لا يمكن لاثنين من البشـــر أن يكون لهمـــا التركيبة الميكروبية نفســـها – حتـــى وإن كانا **توأمـين متماثلين**[5]. وربما يســـاعد هذا الاكتشـــاف على فك اللغز الذي قدمه لنا **مشروع الجينوم البشـري**[6]، والذي بيّن أن هناك تشـــابها في دنا البشـــر على مســـتوى العالم بنســـبة 99.9%. ومن الممكن أن ترتبط مصائرنـــا، وصحتنـــا، وربما بعض من أفعالنـــا، بالتباين في جينـــات بنيتنا الميكروبية أكثر مـــن ارتباطها بجيناتنا.

ومع أن البنى الميكروبيـــة تختلف بوضوح، من شـــخص إلى آخر، وذلك فيمـــا يتعلق بالأعداد النســـبية وأنواع الميكروبات التي تحتويها، إلاّ أن أغلب البشـــر لديهم مجموعة أساسية كاملة من الجينـــات البكتيرية المفيدة، التي ربما تكون ناتجة من أنواع مختلفـــة. إلا أن هذه البكتيريا المفيـــدة يمكنها أن تســـبب أمراضـــا خطيرة، وذلك إذا اختتمت مسيرتها بوجودها في مكان ليس من المفترض أن توجد فيه – وعلى ســـبيل المثال، في الدم (حيث تســـبب البكتيريا مرضا **إنتانيـا**[7])، أو في شـــبكة الأنســـجة الموجودة بين الأعضاء في منطقة البطن (وهو ما يســـبب التهاب **الصّفاق**[8]).

أكثر من بشر

يا صديقي، هل يمكنك الاستغناء عن جين؟[*]

أيـد مسـاعدة: إلـى حد بعيـد، تتجاوز أعـداد الجينـات الموزعة بـين البكتيريا الصديقة، التي تعيش في داخل جسـم البشـر وعلى بشرتهم، أعداد ما نرثه من آبائنا من جينات. وحاليا، يقوم الباحثون بشـكل مفصل باكتشـاف أي من هذه الجينات الميكروبية يمكنه أن يكون نافعا لعوائله من البشر وكيف يتم ذلك.



(*) Buddy, Can You Spare a Gene?
(1) ribosomes
(2) catalogue
(3) gene sequencers
(4) census
(5) identical twins
(6) Human Genome Project
(7) sepsis: الإنتـــان هـــو حالة مرضيـــة خطيـــرة يصاحبها حدوث تفاعلات التهابية معممة في الجســـم نتيجة لوجود الميكروبات أو نواتج استقلابها في الدم والأنسجة.
(8) peritonitis: التهاب حادّ يصيب الأغشية المعوية. (التحرير)

أصدقاء نافعون[*]

منذ عقود، بدأ الشك في أن **الميكروبات** bugs النافعة ربما تكون ذات فائدة لنا وذلك نتيجة أبحاث علمية في الهضم وإنتاج الڤيتامينات في أمعاء الحيوانات. وبحلول الثمانينات من القرن الماضي، كان الباحثون قد تعلموا أن أنسجة الإنسان تحتاج إلى الڤيتامين B_{12} لإنجاز العديد من الأشياء، ومنها إنتاج الطاقة للخلية وبناء الدنا وصناعة الأحماض الدهنية. كذلك، فقد توصل الباحثون إلى أن البكتيريا وحدها هي التي يمكنها بناء الإنزيمات اللازمة لإعداد هذا الڤيتامين من نقطة الصفر. وبشكل مشابه، فإن العلماء قد عرفوا منذ أعوام أن بكتيريا الأمعاء يمكنها تكسيرُ مكوناتٍ معينةٍ في الغذاء، ومن دونها تصبح هذه المكونات غير قابلة للهضم، وتمر إلى خارج الجسم من دون أن يجري استخدامها. إلا أنهم قد تعلموا خلال الأعوام القليلة الماضية فقط **التفاصيل المثيرة**[1] لذلك: يقوم نوعان من البكتيريا المتعايشة، بوجه خاص، بتأدية أدوار كبرى في الهضم وتنظيم الشهية.

ربما يبدو اسم المثال الرئيسي لميكروب نافع كأنه اشتُق من اسم أحد بيوت الطلبة الذين لهم أسماء يونانية. إنه الميكروب **(Bt)**[2] وهو أحد أبطال تكسير الكربوهيدرات، حيث لديه قدرة على تكسير جزيئات الكربوهيدرات الكبيرة والمعقدة، الموجودة في العديد من الأغذية النباتية المصدر وتحويلها إلى **گلوكوز**[3] وغيره من سكريات أخرى صغيرة، وبسيطة، ويمكن هضمها بسهولة. والجينوم البشري يفتقد إلى معظم الجينات اللازمة لبناء الإنزيمات اللازمة لتكسير هذه الكربوهيدرات المعقدة. ولكن الميكروب Bt لديه جينات تكود لأكثر من 260 إنزيما لديها قدرة على هضم المادة النباتية. وبذلك فهو يمد البشر بوسيلة فعالة لاستخلاص المغذيات من ثمرات البرتقال والتفاح والبطاطا و**جنين القمح**[4] وغيرها من الأغذية.

والتفاصيل الجذابة حول الكيفية التي يستطيع بها الميكروب Bt أن يتفاعل مع العوائل الحاملة له ويدعمها، تأتينا من دراسات عن فئران رُبِّيَتْ في بيئة معقمة تماما (لذا، فهي لا تحمل أي بنية ميكروبية) مع تعريضها فقط لهذا النوع الميكروبي بالتحديد. وفي عام 2005 سجل الباحثون بجامعة واشنطن في سانت لويس أن الميكروب Bt يمكنه مواصلة المعيشة باستهلاك الكربوهيدرات المعقدة المعروفة **بالسكريات العديدة**[5]، حيث تقوم هذه البكتيريا بتخمير هذه المركبات، لتنتج أحماضا دهنية قصيرة السلسلة (وهي في الأساس من مخلفات الميكروب) تستطيع الفئران استخدامها كوقود. وبهذه الطريقة، فإن البكتيريا يمكنها استخلاص **كالوريات** (**سعرات حرارية** calories) من أنواع غير قابلة للهضم طبيعيا من الكربوهيدرات، مثل الألياف الغذائية في **نخالة الشوفان**[6]. (في الحقيقة، يجب على القوارض الخالية من البكتيريا أن تتناول كالوريات أكثر بنسبة 30% من تلك التي لديها بنية ميكروبية كاملة، وذلك كي تكتسب الوزن نفسه).

لقد أدت دراسة البنية الميكروبية إلى إعادة تقديم أحد أنواع البكتيريا المرضة يسمى **هليكوبكتر پيلوري**[7] بوجه أفضل. فمع توجيه أصابع الاتهام إلى هذا الميكروب كعامل مسبب للإصابة **بقرحة المعدة**[8] بواسطة الطبيبين الأستراليَّيْن ‹B. مارشال› و ‹R. ورن› في الثمانينات من القرن الماضي، فإنه يبدو كأحد الأنواع البكتيرية القليلة التي يمكنها أن تنمو في البيئة الحامضية في المعدة. ومع أنه كان من المعروف سابقا، ولفترة طويلة، أن الاستخدام المستمر للأدوية المسماة **بالعقاقير اللاستيرودية المضادة للالتهابات**[9]، أو NSAIDs، هو سبب شائع لحدوث القرحة المعدية، فإن اكتشاف إسهام البكتيريا في حدوث هذه الحالة المرضية، كان نبأ جديرا بالملاحظة. وفي أعقاب هذا الاكتشاف من ‹مارشال›، فإن معالجة القرحة المعدية بالمضادات الحيوية صارت ممارسة عادية. ونتيجة لذلك، فإن معدل حدوث القرحة المعدية المستحثة بواسطة هليكوبكتر پيلوري قد انخفض بأكثر من 50 في المئة.

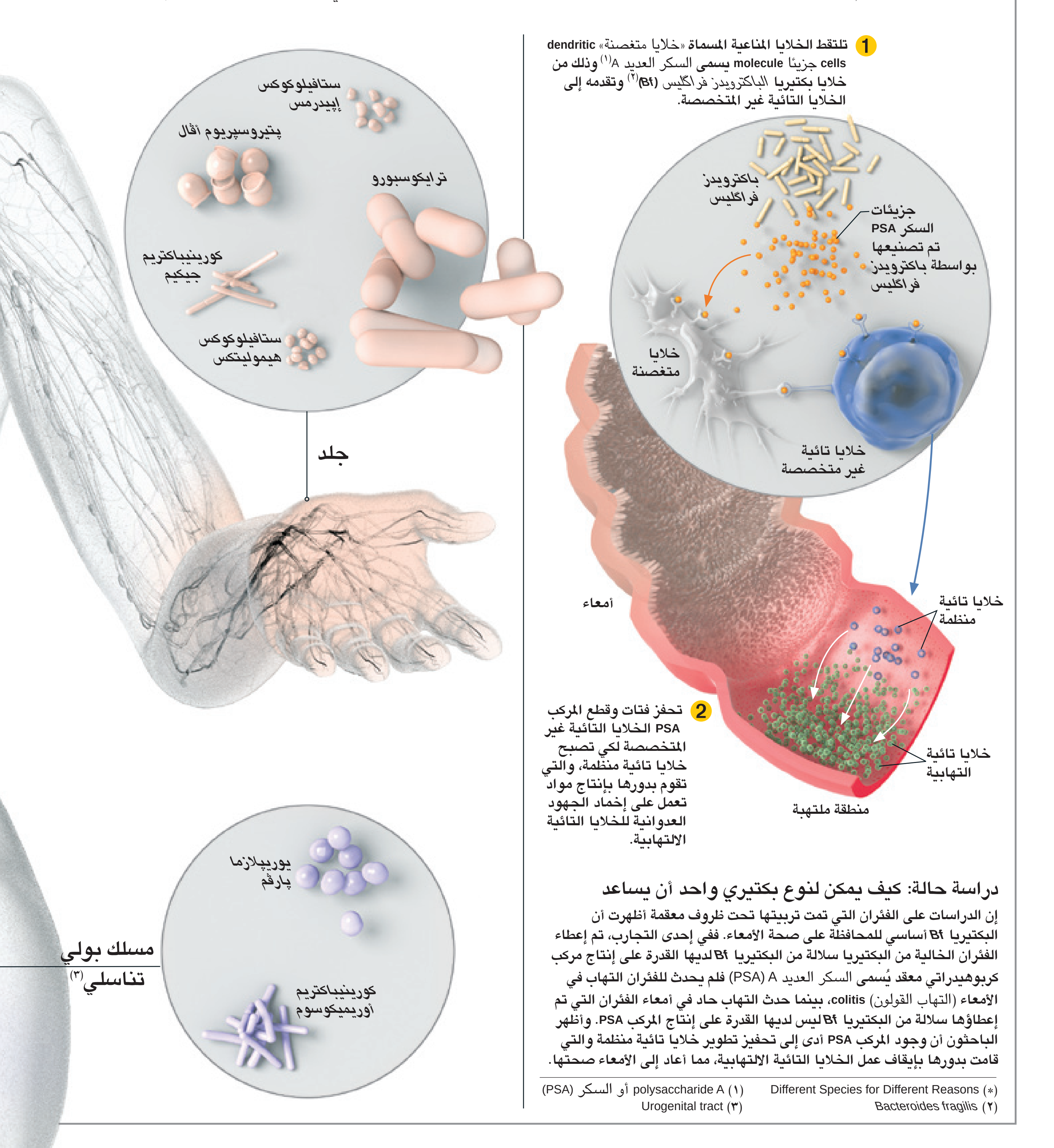
إلا أن الأمر ليس بهذه البساطة، وذلك على حد قول ‹M. بلاسر›، أستاذ الطب الباطني والميكروبيولوجي في جامعة نيويورك، الذي قام بدراسة هليكوبكتر پيلوري خلال الخمسة والعشرين عاما الأخيرة. ويقول ‹بلاسر›: «كجميع الباحثين في هذا المضمار، بدأت العمل على هليكوبكتر پيلوري كممرض بسيط. ولكن الأمر استغرق مني بضع سنوات لكي أدرك أنه في الحقيقة ميكروب متعايش.» ففي عام 1998 قام ‹بلاسر› وزملاؤه بنشر دراسة أظهرت أنه في معظم البشر، يعمل هليكوبكتر پيلوري على إفادة الجسم بالمساعدة على تنظيم مستويات **الحوامض المعدية** gastric acids، وذلك بما يؤدي إلى إيجاد بيئة مناسبة له وللعائل الذي يحتويه. فإذا قامت المعدة، على سبيل المثال، بإنتاج كمية كبيرة جدا من الحامض تساعد على نمو هذا الميكروب، فإن سلالات منه تكون حاملة للجين المسمى cagA، تعمل على إنتاج بروتينات

(*) FRIENDS WITH BENEFITS
(١) the juicy details
(٢) Bacteroides thetaiotaomicron
(٣) glucose
(٤) wheat germ
(٥) polysaccharides
(٦) oat bran
(٧) Helicobacter pylori
(٨) peptic ulcers
(٩) nonsteroidal anti-inflammatory drugs

خريطة تحديد مواقع الميكروبات في الجسم

أنواع مختلفة لأسباب مختلفة(*)

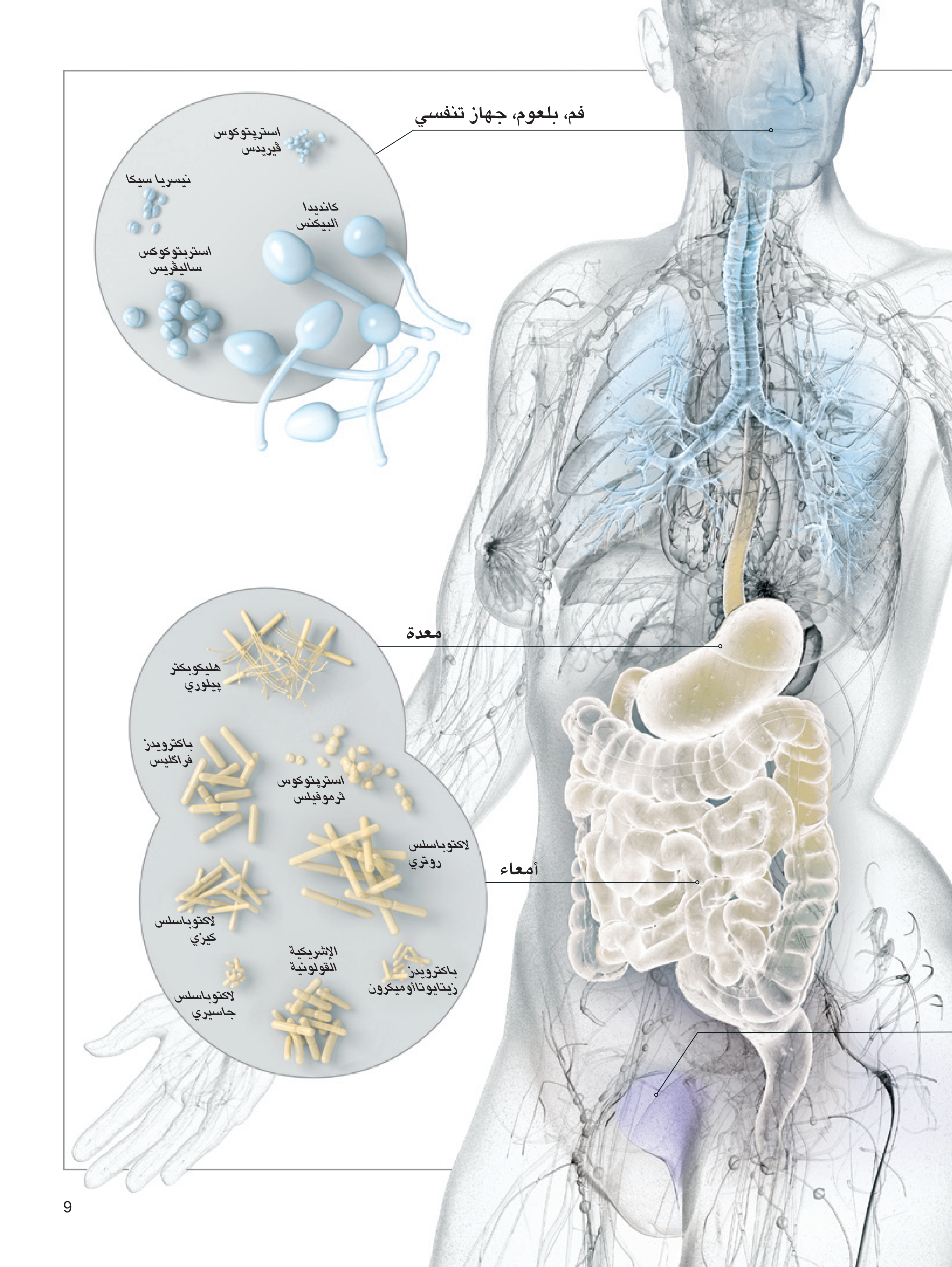
تتجمع أنواع مختلفة من الميكروبات في كل مكان داخل وعلى جسم الإنسان. ويحافظ وجود هذه الميكروبات على صحة العائل، ويرجع ذلك جزئيا إلى أن وجودها يجعل الأمر صعبا على الميكروبات المسببة للأمراض بأن تقوم باختراق الجسم. والعديد من الأنواع، مثل الميكروب Bf، يمكنها أيضا أن تقوم بأداء وظائف نافعة متخصصة، ويتضمن ذلك المساعدة على تطور الجهاز المناعي وتنظيمه (انظر أسفل يمين الشكل).



دراسة حالة: كيف يمكن لنوع بكتيري واحد أن يساعد

إن الدراسات على الفئران التي تمت تربيتها تحت ظروف معقمة أظهرت أن البكتيريا Bf أساسي للمحافظة على صحة الأمعاء. ففي إحدى التجارب، تم إعطاء الفئران الخالية من البكتيريا سلالة من البكتيريا Bf لديها القدرة على إنتاج مركب كربوهيدراتي معقد يُسمى السكر العديد A (PSA) فلم يحدث للفئران التهاب في الأمعاء (التهاب القولون) colitis، بينما حدث التهاب حاد في أمعاء الفئران التي تم إعطاؤها سلالة من البكتيريا Bf ليس لديها القدرة على إنتاج المركب PSA. وأظهر الباحثون أن وجود المركب PSA أدى إلى تحفيز تطوير خلايا تائية منظمة والتي قامت بدورها بإيقاف عمل الخلايا التائية الالتهابية، مما أعاد إلى الأمعاء صحتها.

(*) Different Species for Different Reasons
(1) polysaccharide A أو السكر (PSA)
(2) Bacteroides fragilis
(3) Urogenital tract


فم، بلعوم، جهاز تنفسي
استرپتوكوس
ڤيريدس
نيسريا سيكا
كانديدا
ألبيكنس
استربتوكوكس
ساليڤريس
معدة
هليكوبكتر
پيلوري
باكترويدز
فراگليس
استرپتوكوس
ثرموفيلس
لاكتوباسلس
روتري
أمعاء
لاكتوباسلس
كيزي
الإشريكية
القولونية
باكترويدز
زيتايوتاأوميكرون
لاكتوباسلس
جاسيري

تعطي إشارة إلى المعدة لكي تخفض من إنتاج الحامض. إلا أن لهذا الجين تأثيرا غير مرغوب فيه لدى الأشخاص الحساسين للميكروب، إذ إنه يتسبب في حدوث القرحة التي أكسبت هليكوبكتر بيلوري **سمعة سيئة**(١).

بعد مرور عقد من الزمن قام ‹بلاسر› بنشر دراسة أخرى، مُقترحا وظيفة أخرى لهليكوبكتر بيلوري، إلى جانب دوره في تنظيم حموضة المعدة. لقد عرف العلماء منذ عدة سنوات أن المعدة تقوم بإنتاج هرمونين لهما دور في تنظيم الشهية للطعام وهما: **الگريلين**(٢)، الذي يخبر المخ بأن الجسم بحاجة إلى أن يأكل، و**الليبتين**(٣)، الذي يعمل - إلى جانب قيامه بأشياء أخرى - على إعطاء إشارة بامتلاء المعدة، وعدم الحاجة إلى المزيد من الغذاء. يقول ‹بلاسر›: «عندما تستيقظ في الصباح وأنت جائع، فإن سبب ذلك هو أن مستويات الگريلين مرتفعة. إن الهرمون يخبرك بأن تأكل، ثم ينخفض بعد تناولك وجبة الإفطار» وهذا ما يشير إليه العلماء **بانخفاض ما بعد الوجبة**(٤).

وفي دراسة نُشرت عام 2011، لاحظ ‹بلاسر› ما يحدث لمستويات الگريلين قبل تناول الوجبات وبعدها، وذلك في أشخاص لديهم هليكوبكتر بيلوري، وآخرين يخلون منه. وقد كانت النتائج واضحة، يقول ‹بلاسر›: «إذا كان لديك هليكوبكتر بيلوري، فسيحدث لك انخفاض ما بعد الوجبة في مستوى الگريلين. وعندما تتخلص من الهليكوبكتر بيلوري، فلا يحدث لك ذلك. إن هذا يعني - بداهة - أن الهليكوبكتر بيلوري يشارك في تنظيم مستوى الگريلين» - ومن ثم له تأثير في الشهية للطعام. إلا أن الكيفية التي يستخدمها للقيام بذلك مازالت لغزا إلى حد بعيد. لقد أوضحت الدراسة التي أُجريت على 92 من **المحاربين القدامى**(٥) أن الأشخاص الذين عولجوا بمضادات حيوية للتخلص من الهليكوبكتر بيلوري، اكتسبوا المزيد من الوزن، وذلك مقارنة بأقرانهم غير المصابين بالميكروب - ومن المحتمل أن يكون ذلك بسبب أن مستوى الگريلين قد ظل مرتفعا في الوقت الذي كان يجب أن ينخفض فيه، وهذا مما جعلهم يشعرون بالجوع وقتا أطول، ويتناولون مزيدا من الطعام.

منذ جيلين أو ثلاثة أجيال، حمل 80% من الأمريكيين هذا الميكروب القوي. أما الآن فإن أقل من 6% من الأطفال الأمريكيين لديهم نتيجة إيجابية في اختبار الكشف عن هذا الميكروب. ويقول ‹بلاسر›: «لدينا جيل كامل من الأطفال الذين يكبرون من دون الهليكوبكتر بيلوري، الذي يقوم بتنظيم مستوى الگريلين الذي تنتجه المعدة». أضف إلى ذلك، أن الأطفال الذين يتعرضون تكرارا إلى جرعات مرتفعة من المضادات الحيوية، معرضون لمواجهة تغيرات أخرى في تركيبتهم الميكروبية. فعند بلوغ الخامسة عشرة من العمر، يكون معظم الأطفال في الولايات المتحدة الأمريكية قد تعرضوا لدورات متعددة من المعالجة بالمضادات الحيوية، وذلك في مواجهة حالة مرضية واحدة - وهي **التهاب الأذن الوسطى**(٦) أو إصابة الأذن. ويظن ‹بلاسر› أن هذه المعالجة الواسعة الانتشار للأطفال الصغار بالمضادات الحيوية قد أدت إلى تغيرات في تركيبات البنية الميكروبية المعوية الخاصة بهم، وأن تلك التغيرات ربما تساعد على تفسير المستويات المرتفعة من إصابة الأطفال بالبدانة. ويعتقد أن البكتيريا المتباينة الداخلة في البنية الميكروبية ربما تؤثر في قيام نوع معين من الخلايا الجذعية بالجسم، وهي خلايا غير متخصصة نسبيا - على أن يصبح متخصصا كخلايا دهنية أو عضلية أو عظمية. وهو يُحَاجُّ في أن تناول المضادات الحيوية في مرحلة مبكرة من الحياة، ومن ثم التخلص من أنواع ميكروبية معينة، قد يتداخل مع الإشارات الطبيعية، مؤديا إلى إنتاج زائد عن اللازم من الخلايا الدهنية.

تُرَى، هل الفقد المتزايد للهليكوبكتر بيلوري وغيره من البكتيريا من البنية الميكروبية للإنسان، إضافة إلى بعض العادات الاجتماعية - مثل الإتاحة السهلة للأغذية ذات الكالوريات العالية، والانخفاض المستمر في العمل اليدوي - هي عوامل كافية لترجيح كفة الميزان لانتشار وباء البدانة على مستوى العالم؟ يقول ‹بلاسر›: «نحن لا نعلم حتى الآن ما إذا كان ذلك سوف يكون جزءا أساسيا أو غير مهم في قصة البدانة، إلا أنني أراهن على أنه لن يكون أمرا ثانويا في أهميته.»

إن استخدام المضادات الحيوية على نطاق واسع ليس، في رأي ‹بلاسر›، السبب الوحيد في حدوث خلل غير مسبوق في البنية الميكروبية للإنسان. بل إن التغيرات الكبيرة في بيئة الإنسان خلال القرن الماضي، شاركت في ذلك أيضا. فالزيادة الواضحة في عدد **الولادات القيصرية**(٧) خلال العقود القليلة الماضية، حدَّت بوضوح، من نقل جميع السلالات الميكروبية المهمة من الأم إلى المولود عبر قناة الولادة. (أكثر من 30% من إجمالي المواليد في الولايات المتحدة يجري توليدهم قيصريا، وفي الصين - بلد الطفل الواحد لكل زوجين - فإن هذه العملية الجراحية مسؤولة عمّا يقرب من ثلثي ولادات النساء المقيمات في المناطق الحضرية). وانتشار الأسر الصغيرة العدد على مستوى العالم، يعني وجود أشقاء أقل، وهم المصدر الرئيسي للمادة الميكروبية لأشقائهم الذين هم أصغر منهم خلال سنوات

(١) nasty rap
(٢) ghrelin
(٣) leptin
(٤) postprandial: مشتقة من الكلمة اللاتينية prandium بمعنى «وجبة».
(٥) veterans
(٦) otitis media
(٧) deliveries by cesarean section

الطفولة المبكرة. وحتى الماء الذي هو أنظف - والذي أنقذ حياة الملايين - فإنه يسبب خسارة في البنية الميكروبية للإنسان، ذلك أنه يحمل تنوعا أقل من البكتيريا التي يمكن أن نتعرض لها. والنتيجة هي: عدد أكبر وأكبر من الناس يولدون ويكبرون في عالم ميكروبي يزداد فقرا.

توازن دقيق[*]

يتَّضح من الدراسات التي تُجْرَى حاليا على الميكروبين Bf وهليكوبكتر بيلوري أن مجرد طرح الأسئلة الأساسية عمّا تؤديه هذه الأنواع البكتيرية في الجسم يؤدي إلى إجابات معقدة. وإذا تقدمنا خطوة إلى الأمام وتساءلنا عن كيفية استجابة الجسم لوجود جميع هذه الخلايا الغريبة بداخله، فإن هذا سوف يقدم لنا تعقيدا أكبر. على سبيل المثال، يقترح لنا الفهم التقليدي للكيفية التي يستطيع من خلالها الجهاز المناعي التمييز بين خلايا الجسم (الذاتية) والخلايا المختلفة عنها جينيا (غير الذاتية) أن جزيئاتنا الدفاعية في حالة حرب مستمرة ضد هذه الأعداد التي لا تحصى من الميكروبات الدخيلة. ولكن لماذا لا تكون الأمعاء، على سبيل المثال، مسرحا لحدوث معارك أكثر ضراوة بين الخلايا المناعية للإنسان وتريليونات من البكتيريا الموجودة بها هو أحد الألغاز الكبيرة التي لم يتم حلها حتى الآن في **علم المناعة**[1].

مفاتيح الحل القليلة لهذا اللغز تقدم رؤىً مثيرة للتوازن بين البنية الميكروبية والخلايا المناعية للإنسان والذي استغرق ما يقارب من 200 000 عام لكي يتحدد. وعلى مدى دهور من الزمن، طور الجهاز المناعي العديد من الضوابط والتوازنات التي تمنعه بصفة عامة من أن يصبح شديد العدوانية (مهاجما حتى أنسجة الجسم) أو متراخيا جدا (فيفشل في تعرف الميكروبات الخطيرة). على سبيل المثال، فإن الخلايا التائية تؤدي دورا رئيسيا في تعرف الميكروبات الغازية للجسم ومهاجمتها، وهي بذلك أيضا تطلق العنان لحدوث التورم والاحمرار وارتفاع درجة الحرارة، وذلك ضمن **الاستجابة الالتهابية العامة**[2] للإصابة بميكروب ما. إلا أنه وبعد مرور وقت قصير على قيام الجسم بتكثيف إنتاجه من الخلايا التائية، فإنه يبدأ أيضا بإنتاج ما يُعرف **بالخلايا التائية المُنظِّمة**[3]، والتي يبدو أن وظيفتها الأساسية مواجهة نشاط **الخلايا التائية الأخرى المستحثة للالتهاب**[4].

إن الخلايا التائية المنظمة تنخرط عادة في العمل قبل أن تزيد الخلايا التائية المستحثة للالتهاب من نشاطها إلى مدى بعيد. «المشكلة هي أن العديد من الآليات التي تستخدمها هذه الخلايا التائية المستحثة للالتهاب لمقاومة الإصابة المرضية - كإطلاق مركّبات سامة، على سبيل المثال - تنتهي بتدمير أنسجتنا»، وذلك كما يقول ‹مازمانين› [من **كالتك**[5]]. ولحسن الحظ، فإن الخلايا التائية المُنظِّمة تنتج بروتينا يعمل على كبح الخلايا التائية المستحثة للالتهاب. وتكون المحصلة هي الحد من حدوث الالتهاب ومنع الجهاز المناعي من مهاجمة خلايا الجسم وأنسجته. وما دام يوجد توازن جيد بين الخلايا التائية المولعة بالقتال والخلايا التائية المنظمة التي تكون أكثر تسامحا، فإن الجسم يظل في صحة جيدة.

لقد غيرنا تماما من ارتباطنا بالعالم الميكروبي. وهناك ثمن لكي ندفعه من جرّاء نوايانا الطيبة.

و طوال سنوات، افترض الباحثون أن هذا النظام من الضوابط والتوازنات قد أُنْتِجَ بالكامل بواسطة الجهاز المناعي. إلا أنه، وفي مثال آخر لمحدودية قدرتنا على التحكم في مصائرنا، فقد بدأ ‹مازمانين› وآخرون بإثبات أن وجود جهاز مناعي مكتمل وصحي يعتمد على تدخل مستمر من البكتيريا النافعة. يقول ‹مازمانين›: «إنه أمر ضد المبادئ المعروفة أن نفكر في أن البكتيريا يمكنها أن تجعل جهازنا المناعي يعمل بطريقة أفضل. إلا أن الصورة تتضح جدا الآن: فالقوة الدافعة لامتلاك الجهاز المناعي خصائصه المعروفة هي الميكروبات المتعايشة».

لقد اكتشف ‹مازمانين› وفريقه البحثي أن متعضيا ميكرويا شائعا اسمه **(Bf)**[6]، يعيش في نحو 70-80 في المئة من البشر، يساعد على إبقاء الجهاز المناعي في حالة توازن، وذلك بتقويته للذراع المضاد للالتهاب في هذا الجهاز. بدأ هذا البحث بملاحظات حول أن الفئران الخالية من الميكروبات تكون ذات أجهزة مناعية قاصرة، إذْ تكون خلاياها التائية المُنظِّمة ضعيفة في أداء وظيفتها. وعندما قام الباحثون بتقديم الميكروب Bf إلى الفئران، حدثت استعادة للتوازن بين الخلايا التائية المستحثة للالتهاب والخلايا التائية المضادة للالتهاب، وصارت الأجهزة المناعية لهذه القوارض تعمل بشكل طبيعي.

كيف يحدث ذلك؟ في بدايات التسعينات من القرن العشرين، بدأ الباحثون بتمييز صفات العديد من جزيئات السكر التي

(*) A DELICATE BALANCE
(1) immunology
(2) generalized inflammatory response
(3) regulatory T Cells
(4) pro-inflammatory T Cells
(5) Caltech: كالتك هو اختصار لمعهد كاليفورنيا للتقانة California Institute of Technology.
(6) Bacteroides fragilis

التتمة في الصفحة 19

قِطَعُ الاندماج النووي المفقودة[*]

على طريق إنتاج طاقة غير محدودة، تواجه تجربة اختبار الاندماج النووي الدولية بعض العقبات العميقة.

<G. برومفيل>

كان الطقس في جنيف باردا ورماديا بسبب الغيوم عندما هبطت طائرة سلاح الجو الرئاسية في الشهر 1985/11. لقد حضر الرئيس <رونالد ريگان> لمقابلة <ميخائيل گورباتشوف>، الذي كان قد عُيّن حديثا قائدا للاتحاد السوفييتي. وقد كان <ريگان> مقتنعا بأن خطرَ كارثة حرب نووية كبيرٌ، وأراد خفض ترسانتيْ الأسلحة المتضخمتين في الدولتين العظميين. واعترف <گورباتشوف> كذلك بأن سباق التسلح يخنق الاقتصاد السوفييتي.

وما لبث الاجتماع الخاص - وجها لوجه - أن تدهور عندما ذكّر <ريگان> نظيره <گورباتشوف> بتاريخ العدوان السوفييتي. وبدوره هاجم <گورباتشوف> مبادرة <ريگان> للدفاع الاستراتيجي والتي تمثل خطة طموحة لتعطيل السلاح النووي المهاجم وهو في الجو. إلا أنه في الخامسة صباحا، وافق الطرفان على بيان مشترك من دون أي تعهدات ثابتة. وفي أسفل البيان - وكأنها حاشية - أضاف كل من <ريگان> و<گورباتشوف> تعهدا رقيقا بتطوير مصدر جديد للطاقة «لصالح البشرية جمعاء».

حركت تلك الحاشية مشروعا انطلق الجدل حوله كأكبر مشروع علمي طموح في القرن الحادي والعشرين، وهو يجمع التقانات التجريبية المعقدة التي ستدعم الحل النهائي لأزمة الطاقة التي تعانيها البشرية، وذلك إذا ما سارت الأمور على ما يرام.

سيحاول **المشروع (ITER)**[1] (وهو اختصار للأحرف الأولى لمشروع International Thermonuclear Experimental Reactor) إنتاج طاقة الشمس على أرض كوكبنا. وسيولد المشروع نحو 500 ميگاواط من الطاقة، التي هي عشرة أمثال الطاقة اللازمة لتشغيله باستعمال الهدروجين، العنصر الأكثر وفرة في الكون. وسيقدم هذا المشروع برهانا على مبدأ تقانة يمكن أن تقود إلى التزود بالطاقة بلا حدود لسد حاجة العالم الجائع إليها. وقد جنّد السياسيون من البلدان السبعة الأعضاء في المشروع - بما فيها الولايات المتحدة وروسيا - أممهم بحماسة للمشاركة في إنجاح هذا المشروع.

ولا يزال المشروع ITER[2]، على نفس حال القمة التي ولدته، إذ لم يرق إلى مستوى التوقعات. فتقديرات التكاليف تضاعفت، ومن ثم تضاعفت مرة أخرى، لأن المشكلات الهندسية تم حلها عن طريق حلول بيروقراطية مناسبة. فمثلا، بدلا من تجميع المواد في مكان واحد، يقوم كل من المشاركين

(*) FUSION’S MISSING PIECES

(١) الأحروف الأولى للمشروع: المفاعل الحراري النووي التجريبي الدولي International Thermonuclear Experimental Reactor

(٢) يُلفظ بالإنكليزية: eater.

باختصار

يَعِدُ مفاعل الاندماج ITER بأن يكون نقطة تحول على طريق الطاقة النظيفة غير المحدودة. وعندما تعمل هذه الآلة ستنتج عشرة أمثال الطاقة التي ستستهلكها لكي تعمل.

مع جميع الآمال الواعدة، يعاني المشروع ITER صعوبات. فقد جرت مضاعفة الميزانية ببلايين الدولارات، وإضافة سنوات من التأخير على البرنامج المقرر، ولن يبدأ المفاعل بتجارب إنتاج الطاقة حتى عام 2026 على أقرب تقدير.

تشمل الأسباب المعقدة خلف المصاعب الأساسية صعوبات هندسية غير متوقعة ونزاعات بيروقراطية معقدة ناجمة عن المشاركة العالمية بين الدول الرئيسية السبع.

يجادل المنتقدون في أن المشروع ITER أصبح عبارة عن أضغاث أحلام، غرضه الوحيد امتصاص الأموال من مشاريع الأبحاث المنتجة للطاقة النظيفة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية.



الســبعة بإنتاج الأجزاء فُراداً، ومن ثم يقومون بتركيبها في مبنى المشــروع في جنوب فرنسا. وهذه العملية تشبه تماما شــراء الصواميل والبراغي والحمالات عبر كاتالوج تجميع طائرة بوينگ 747 في الفناء الخلفي لمنزلك. فالتقدم بالمشروع شــديد البطء. ومنذ أقل من ســنة، كان المشــروع عبارة عن حفــرة عمقها 56 قدما فــي الأرض. ولم تملأ إلا مؤخرا بما يقــارب أربعة ملايين قــدم مكعب من **الخرســانة** concrete. وفجأة تأجل موعد تشــغيل المشروع من عام 2016 إلى عام 2018، ثــم إلــى أواخر عام 2020. ولن تجــرى أولى تجارب إنتاج طاقة حقيقة قبل عــام 2026 – أي بعد نحو عقدين من بدء تشييد المشروع.

وليس المشروع ITER إلا مجرد بداية لهذا المصدر الجديد المفتــرض للطاقة. وحتى في حال نجاحه، هناك جيل آخر من مفاعلات الاختبار ســتتبعه. ولن تبــدأ البلديات المحلية ببناء محطات الاندماج لتزويد الشــبكات العامة بالطاقة إلا بعد أن تأخذ مفاعلات الاختبار مجراها حتى النهاية. ويُعدُّ المشروع الخطوة الأولى في مشروع سيمتد عقودا إن لم تكن قرونا.

ويجادل الداعمون للمشروع ITER بأنه الأمل الوحيد لتلبية



المؤلف

Geoff Brumfiel

هو من طاقم مراسلي مجلة نيتشر Nature في لندن، حيث يقوم بتغطية المشروع ITER منذ أكثر من عقد.

حاجة العالم التي لا ترتوي إلى الطاقة. ولكن مع أنهم أجبروا على إعادة معايرة توقعاتهم **الطوباوية**[1]، فإن المشروع اليوم يبدو أنه مدفوع بقوة **العطالة**[2] **المؤسساتية** institutional inertia. فمن الأسهل لكل حكومة مشاركة أن تحافظ على المنهج نفسه من أن تكون المنبوذ الوحيد المنسحب باكرا. وبذلك يمتلك النقاد ذخيرة أكبر ليصبوا جام نقدهم عند كل تأخير وعند كل طلب لتكاليف إضافية. فهم يقولون إن المشروع ITER هدر هائل للمال اللازم بإلحاح في مجالات أخرى من أبحاث الطاقة. ولكن كلا الجانبين متفق على أنه من الأفضل أن يكلل المشروع بالنجاح التام عند الانتهاء منه كليا.

حصر الشمس في زجاجة(*)

من الناحية النظرية، يُعدّ الاندماج مصدرا مثاليا للطاقة. فهو يعتمد على شيء واحد في الفيزياء يعرفه الجميع، وهو أن الطاقة تساوي الكتلة مضروبة بمربع سرعة الضوء ($E = mc^2$). وبما أن سرعة الضوء كبيرة جدا، فإن ($E = mc^2$) تقتضي أن مقدارا صغيرا جدا من الكتلة يمكن أن يولد كمية هائلة من الطاقة.

وتستغلّ جميع التفاعلات النووية هذا القانون الكوني الأساسي. ففي حالة محطات الطاقة النووية العادية، تنشطر نوى اليورانيوم الثقيلة إلى جزأين لتولد عناصر أخف. وأثناء هذا الانشطار، يتحوّل جزء صغير من كتلة اليورانيوم مباشرة إلى طاقة. وهذا ما يحدث في الاندماج، ولكن في الاتجاه المعاكس. إذ عندما تندمج نواتان خفيفتان مثل الهدروجين يتولد **أيون الهيليوم**[3] الذي يزن أقل بقليل من مجموع وزن أبويه. فلكل وحدة كتلة، يستطيع وقود الاندماج إطلاق ما يقارب ثلاثة أضعاف الطاقة التي يولدها انشطار اليورانيوم. والأهم من ذلك، فإن الهدروجين أكثر وفرة بكثير من اليورانيوم، ونفايات الاندماج – التي هي الهيليوم – ليست مشعة.

يقول <S.-G. لي> [وهو عالم من كوريا الجنوبية كان قد كرّس سنوات من عمره في مناقشات المشروع ITER]: «إن الاندماج شيء مغر»، ويضيف قائلا: «إن العمل في مشروع الطاقة هذا أشبه بأناس في العصور الوسطى يبحثون عن طرق لتصنيع الذهب، فالاندماج هو الكأس المقدس لأبحاث الطاقة.»

و<لي> مؤمن عتيد بالطاقة الاندماجية. ففي عام 1980 وصل إلى جامعة شيكاغو كطالب دراسات عليا لدراسة **نظرية الحقل الكمومي**[4]، إحدى أصعب أركان الفيزياء، إلا أن أمريكا غيّرت تفكيره. يقول <لي>: «في الولايات المتحدة المال هو كل شيء. ونظرية الحقل الكمومي لا تقدم سوى ثروة فكرية.» وقد أخذ يبحث عن شيء أكثر تطبيقا ليقوم بدراسته. واستقر رأيه على دراسة مسألة الاندماج. وفي هذا الصدد يقول: «إنها مسألة صعبة جدا علميا وهندسيا أيضا،» ولكنه إذا نجح حلُّ هذه المسألة، فسيكون الربح هائلا، حيث ستتوفر الطاقة على نطاق واسع وبسعر زهيد، وسيفقد الوقود الأحفوري أهميته، وسيشهد العالم تحولات شاملة.

افتتن عدد كبير من العلماء – مثل <لي> – بالاندماج لأكثر من نصف قرن. بل وكثير منهم وعد بقرب تحققه. ومع أن بعض هؤلاء الباحثين كانوا دجالين، إلا أن غالبيتهم كانت على خطأ. فتحقيق الاندماج مسألة صعبة، والطبيعة لا تفي بوعودها.

وهنا يكمن لب التحدي: لأن أيونات الهدروجين تتنافر فيما بينها، فعلى العلماء ضرب بعضها ببعض بعنف كي تندمج. فاستراتيجية المشروع ITER هي القيام بتسخين الهدروجين داخل قفص مغنطيسي. ونموذج القفص المغنطيسي الذي يستعمل في المشروع يسمى **توكاماك** tokamak، وهو عبارة عن دائرة معدنية مجوفة ومطوقة بوشائع تولد حقولا مغنطيسية. وتحشر **الأصفاد المغنطيسية** magnetic cuffs البلازما المشحونة، المؤلفة من أيونات الهدروجين، وتسخنها إلى مئات الملايين من درجات الحرارة التي لا تصمد أمامها أية مادة صلبة.

في السبعينات من القرن الماضي، بدت التوكاماكات واعدة لدرجة أن بعض الباحثين توقع أنه بالإمكان بناء محطات نووية اندماجية لتوليد الطاقة الكهربائية مع حلول منتصف التسعينات من القرن المذكور. وكان التحدي الوحيد هو زيادة حجم مفاعلات أبحاث الاندماج إلى القدر المناسب؛ إذ على العموم: كلما كبر التوكاماك ارتفعت درجة حرارة البلازما التي تزيد بدورها كفاءة الاندماج.

(*) BOTTLED SUN
(1) utopian
(2) أو القصور الذاتي.
(3) helium ions
(4) quantum field theory

وهنا ظهرت المصاعب. فالبلازما **مُوصلة** conduct للكهرباء، ويمكن أن تعاني بسبب التيارات المتولدة فيها ذاتيا، الشيء الذي يجعلها تقاوم وتتلوى. وهذه الاضطرابات المثارة يمكن أن تنتزع البلازما وتخرجها من قفصها المغنطيسي مطلقة إياها باتجاه جدار الآلة. ولرفع درجة حرارة البلازما يترتب توسعة التوكاماك لفسح المجال لاستيعابها، وهذا يتطلب حقولا مغنطيسية أقوى لتمسكها. وهذا يعني أنه كلما كبر مجال الاستيعاب وازدادت قوة الحقول المغنطيسية، تطلّب ذلك تيارات كهربائية أعلى في الوشائع النحاسية الكعكية الشكل. والتيارات الكهربائية الأعلى تتطلب طاقة أكبر. وبعبارة بسيطة: كلما كبرتْ الآلة وزادت قدرتها زاد استهلاكها للطاقة اللازمة للإمساك بكافة المكونات.

فهذه العملية تعني أن التوكاماكات التقليدية لن تنتج أبدا طاقة أكثر مما تستهلك. وقد استهدى ‹لي› وآخرون إلى حل واحد فقط: ألا وهو **الموصلات**(1) **الفائقة** superconductors التي هي مواد خاصة تستطيع تمرير تيارات كهربائية بالغة العلو من دون مقاومة عند درجات حرارة منخفضة جدا. فإذا كانت المغانط الكهربائية للتوكاماك من موصلات فائقة، فيمكن عندئذ ضخ التوكاماكات بالتيار الكهربائي لتعمل بلا حدود. وبذلك تحلّ مشكلة الطاقة، وإن لم يكن هذا الحل رخيصا. فالموصلات الفائقة هي من مواد نادرة وغالية الثمن، ولكي تعمل يجب إبقاؤها بشكل دائم مبردة بالهيليوم السائل عند أربع درجات كلڤن فوق الصفر المطلق.

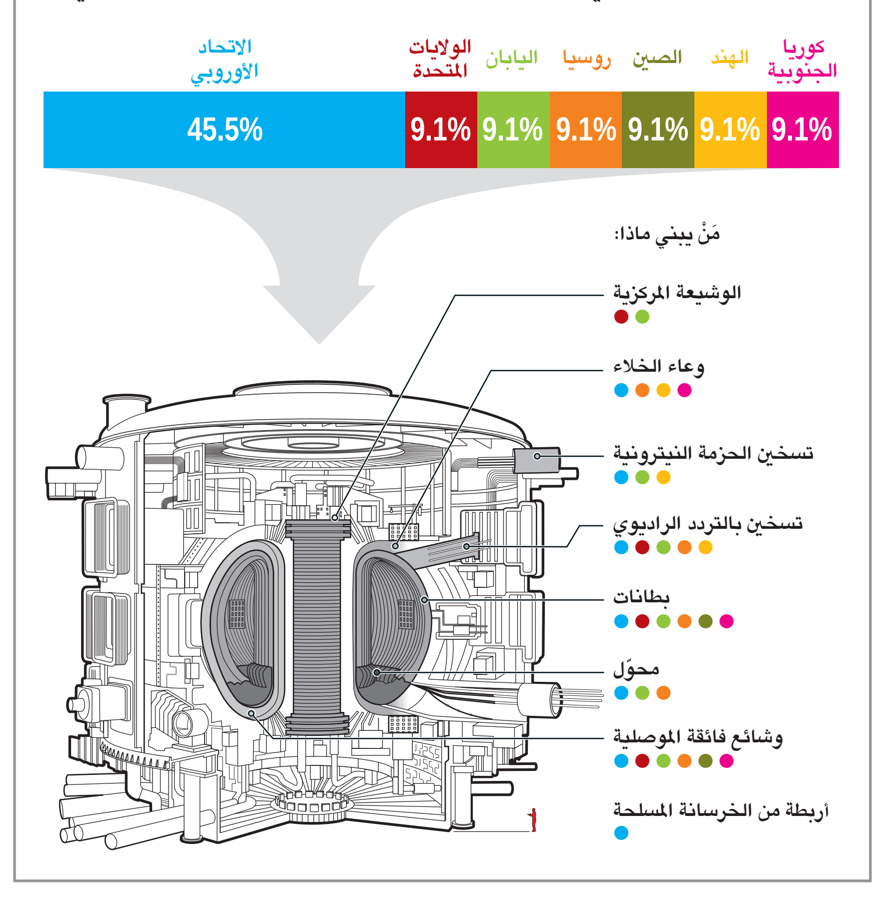
لقد كان واضحا منذ عام 1985 أنه ليس في مقدور روسيا ولا أمريكا بناء توكاماك بالحجم الكافي لإنتاج طاقة صافية. فمنذ بدأ المشروع ITER رسميا، كان مشروعا مشتركا ما بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي واليابان وأوروبا. وكان التصميم الهندسي ضخما جدا ويستخدم أحدث التقانات المعروفة في حينه. فإضافة إلى الموصلات الفائقة، أُدْخِلتْ في المشروع مسرعاتٌ متطورةٌ لإطلاق حزم ذرات معتدلة إلى **القلب** the core لتسخينه، إضافة إلى التسخين بالهوائيات المتطورة التي تقوم بعمل **الموجات الميكروية** microwaves للبلازمات. لقد فُضِّلَ في المشروع ITER استعمال الديتيريوم والتريتيوم - نظيريْ الهدروجين اللذين يندمجان في درجات حرارة وضغط أخفض من درجة اندماج ذرتي الهدروجين العادي. فالديتيريوم شائع نسبيا - نقطة من ماء المحيط تحتوي على عدة تريليونات من ذرات الديتيريوم - إلا أن التريتيوم نادر وناشط إشعاعيا وغالي

تحديات البناء

سوق خيرية (بازار) عالمية للاندماج النووي(*)

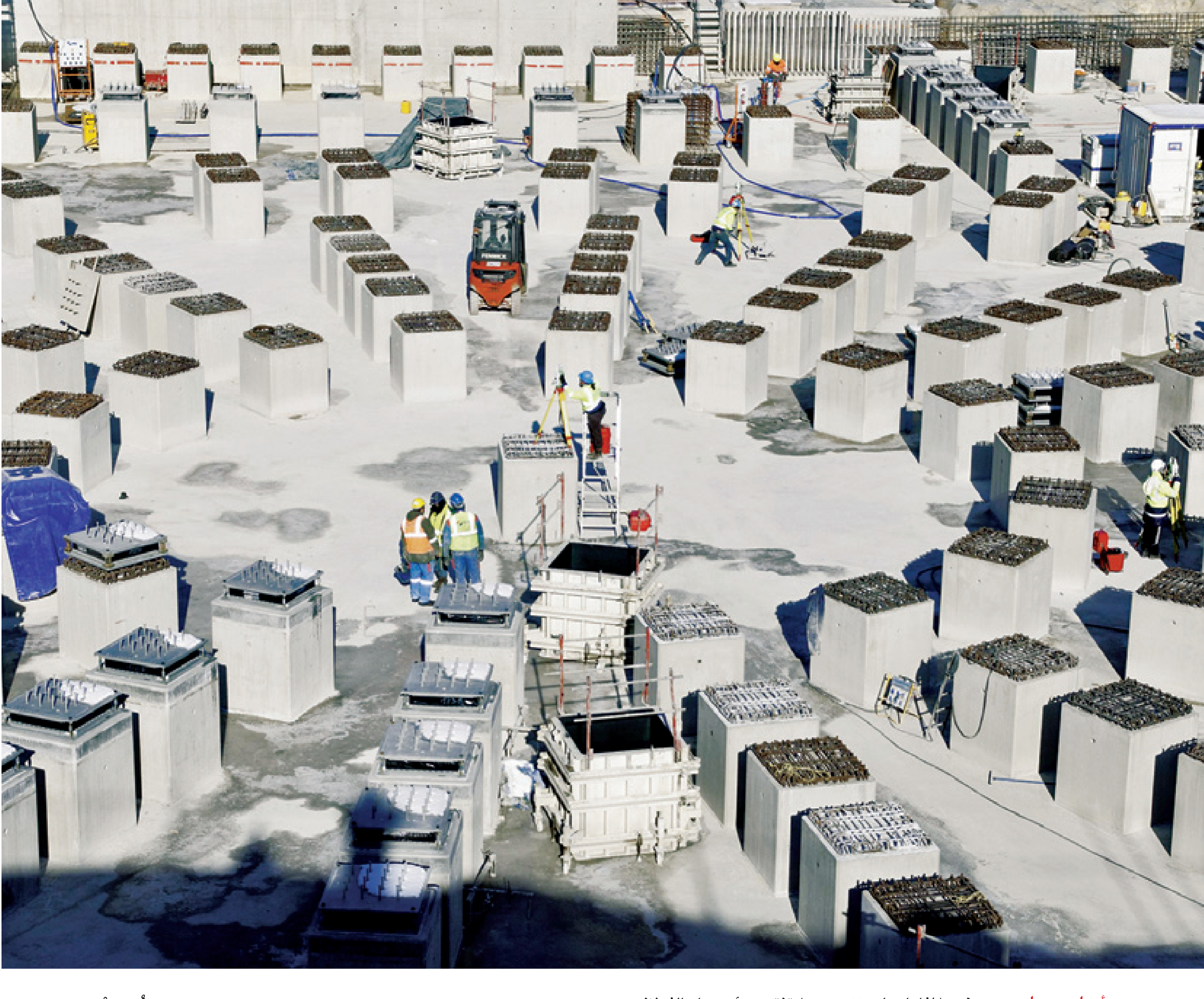
اشتركت ست دول مع الاتحاد الأوروبي لبناء المفاعل ITER، وهو أكبر مفاعل اندماج تجريبي عالمي. وتعهدت كل من الدول الأعضاء المشاركة في المشروع بتأمين أجزاء مهمة منه عن طريق التعاقد مع مصانعها الوطنية لتصنيع التجهيزات المطلوبة. وهذا يعني أن وشائع موصلة فائقة superconducting coil قد تورّد من اليابان أو الصين أو روسيا. ويجب على العلماء الذين يشيّدون المفاعل ITER التأكد من أن هذه القطع جميعها تعمل معا بدقة فائقة في بيئة عمل مفرطة القساوة إلى حد بعيد.

المساهمات النسبية في تكاليف البناء والمقدرة بنحو 20 بليون دولار أمريكي



(*) Fusion's Global Bazaar

(1) أو النواقل



أساس صلب: سيوضع المفاعل على 493 عمودا تنتهي رؤوسها بالفولاذ والمطاط لتحمل هيكل المفاعل الذي يزن 000 400 طن تقريبا، ولتعزله عن الاهتزازات الزلزالية.

الثمن. أما تكاليف تشييد البناء فقُدِّرت بداية بخمسة بلايين دولار أمريكي، ولكن بحلول منتصف التسعينات من القرن الماضي تضاعفت التكلفة نتيجة دراسة مستفيضة ودقيقة لحسابات تكلفة تعقيدات الآلة. وفي عام 1998 تخلت الولايات المتحدة عن المشروع لارتفاع التكلفة كسبب رئيسي.

وبعد ذلك بزمن قصير سارَعَ فريق صغير متفان للمحافظة على استمرار المشروع إلى إعادة تصميمه بنصف الحجم ونصف التكلفة. ويعترف ‹G. جانشيتز› [أحد كبار العلماء في المشروع والعضو في فريق إعادة التصميم الأساسي] قائلا: «ولكن بسبب سرعة إنجاز التصميم في مدة محدودة، نُسيتْ لسوء الحظ، بعض الأشياء». فقد تنازعت الدول الأعضاء جميعا على الأجزاء الكبيرة لصنع الآلة ولم يجرِ قطُّ تحديد الجهة التي ستقوم بصناعة الأشياء الصغيرة، كالوصلات وروابط الدوائر المطبوعة. ويقول ‹جانشيتز›: «لقد كانت هناك فجوات بين جزأين رئيسيين ولم يجرِ توصيفهما حقا في أي مرحلة من مراحل شراء الأجزاء.»

لقد كانت تلك النواقص البلاء الذي أصاب المشروع ITER، لأن الآلة لم تكن في الحقيقة من تصنيع مؤسسة المشروع ITER ذاتها. فالدول المؤسسة، مثل روسيا واليابان، أرادت أن تذهب استثماراتها في المشروع ITER إلى العلماء العاملين في المختبرات الحكومية في دولهم، في حين أن المشاركين الجدد مثل الهند والصين أرادوا منح صناعاتهم الحديثة

التطـور فرصة لتعلم تقانات متقدمة جديدة. وبذلك أسـهمت الدول الأعضاء ببناء وحدات متكاملة للمشـروع (إلى جانب مساهمة مالية صغيرة للمؤسسة المركزية). أما الكبلات الفائقة الموصلية لمغانط المشروع فستصل من شركة هيتاشي Hitachi اليابانية، كما سترد أيضا من شركة تقانات الموصلات الفائقة الغربيــة Western Superconducting Technologies Company في الصين ومن معهد إفريمـوف العلمي لأبحاث التجهيزات الفيزيائية الكهربائية Efremov Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus في روسـيا. وسيُبنى وعاء الخلاء العمـلاق للآلة في أوروبا والهند وكوريا الجنوبية وروسـيا. أما نظم التسـخين، فستأتي عن طريق أوروبا واليابان والهند والولايات المتحدة التي أعادت مشاركتها في المشروع في عام 2003. ويترتب على الإدارة المركزية لمؤسسـة المشروع ITER تسـلم تلك الأجزاء وبيـان النواقص فيها ثم ضم الأجزاء مع بعضها في أكثر التجارب تعقيدا في التاريخ.

ويصبـح التحدي جليا داخل قصر من قصور العصور الوسـطى مطل على نهر دورانـس Durance على الجانب الآخر من الطريق السريع الثنائي الممر من المركز الرئيسي المؤقـت لإدارة المشـروع ITER. فهنـاك يجتمـع أعضاء المشـروع داخل غرفة اجتماعات معدة خصيصا و مكتظة بالشاشات المسـطحة والمايكروفونات. ولايحبذ المجتمعون دخول المراسلين أثناء المناقشـات، إلا أنه خلال استراحة قصيـرة لتناول القهـوة أخبرني ‹لي› بـأن أزمة صغيرة تكشفت خلف الأبواب المغلقة، «فقد اعتقد الهنود بأن أنبوبا يجـب أن ينتهي هنا وآخرون اعتقـدوا أنه يجب أن ينتهي هناك»، مشيرا إلى طرفي الغرفة المتقابلين باستخدام قطعة كيك الشـوكولا التـي تناولها من طاولـة المعجنات أمامه. والحل الواضح، وربما المرضـي للطرفين، هو التلاقي في منتصـف الطريق، إلا أن هذا غير ممكن تقنيا؛ لذلك رفعنا الموضوع إلى المدير العام».

وحتى عـام 2010، كان المدير العام دبلوماسـيا يابانيا ناعسا soporific اسمه ‹K. إيكيدا›. فعندما تصاعد هذا النوع من المصاعب تقدم ‹إيكيدا› باستقالته من منصبه بضغط من مجلس المشروع ITER واستبدل به ‹O. موتوجيما›، وهو خبير وباحـث في الاندماج وتوحي طبيعتـه الهادئة بفكرة خاطئة عن حقيقة شـخصيته الحادة والمستبدة، بحسب تسريبات مـن الداخل. لقد اجتمع ‹موتوجيمـا› ونوابه – وهم خبراء في البرامج الأمريكية والأوروبية – مع الهنود لحل المشـكلة وعَقَدَ اتفاقا في غرفة كانت تُسـتخدَم إسـطبلا في السابق بجانب غرفـة الاجتماعـات. وبينمـا كـان الفـريـق يسـاوم، جلـس ‹H. تونِدَر› [وكان حينها كبير المستشارين القانونيين في المشـروع، وبعدهـا ترك المؤسسـة لينضـم إلـى المجموعـة الأوروبيـة European Commission] في الحديقة وأشـعل لفافة تبغ. سألته فيما لـو كان من المنطقي أكثر أن يجبر ‹موتوجيما› بسـلطته كل دولـة علـى المسـاهمة بما يحتاجه من القطع، أجابنـي ‹تونِدَر› وهـو يميـل في كرسـيه إلـى الخلـف: «سـيكون ذلك مهينـا تماما لجميع العلاقات التي تحاول أن تعززها». وفي نهاية الأمر، ستكتمل كافة أجزاء المشـروع بإرادة الأعضاء في المشـاركة، وليس بسلطات المدير العام للمشروع.

سارع فريق صغير متفان للمحافظة على استمرار المشروع إلى إعادة تصميمه بنصف الحجم ونصف التكلفة. ولكن لسوء الحظ – وبسبب ”المدة المحدودة لإنهاء التصميم – نُسِيَتْ بعض الأشياء.“

الطريق إلى الطاقة(*)

وخلال امتـداد المفاوضات، تضاعفت تكاليف المشـروع ITER مـرة أخرى إلى نحو 20 بليـون دولار أمريكي، مع أنه لا يمكن معرفة التكلفة الفعلية مطلقا بسـبب الطريقة المجتزأة التي يجري على أساسها بناء المشروع، وكذلك بسبب تأخير تاريخ انتهاء البناء لسنتين أخريين.

وارتفاع الأسـعار إلى أرقام قياسية والتأخيرات المتزايدة قد سـعّرتْ المعارضة ضد التوكاماك العملاق، وبخاصة في أوروبـا التي تزود المشـروع بقرابة 45% مـن تكاليف بنائه. ويقـول ‹M. راكيت› [مستشـار الطاقة لحـزب الخضر في البرلمـان الأوروبـي]: «إذا كنـا نحن نريد بحـق إنفاق المال للحفـاظ على المناخ والحصول على الاسـتقلالية في الطاقة، فمن الواضح بأن هذه التجربـة ضرب من الحماقة». ويعمل الاتحاد الأوروبي حاليا على تأمـين موازنة قدرها 2,7 بليون يـورو المطلوبة لإتمام بناء المشـروع ITER بحلول عام 2020. ويخشـى حزب الخضر – وهو الخصم الرئيسي للمشروع في أوروبا – أن تكون تلك الموازنة على حسـاب مخصصات الطاقات المتجددة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية.

أمـا في الولايـات المتحـدة التي ستسـهم بنسـبة 9%

(*) ROAD TO POWER

فقط من التكلفة، فإن المعارضة أكثر صمتا. يقول ‹T. كوشران› [أحد أعضاء الحملة ضد الطاقة النووية في مجلس الدفاع عن المصادر الطبيعية Natural Resources Defense Council]: «إن المشروع ITER غير مهدد، بل هو مجرد هدر للمال». ويؤكد أنه يفضل تكريس طاقاته في محاربة برامج الأبحاث النووية الأخرى التي تولد نفايات طويلة الأمد أو التي تنشر تقانة الأسلحة النووية. وعلى نحو مماثل، يبدو أن الكونگرس الأمريكي غير مبال بشأن هذا البرنامج. فيقول ‹S. دين› [رئيس اتحاد زملاء القدرة الاندماجية Fusion Power Associates – المدافع عن تطوير الطاقة الاندماجية]: «كل ما أستطيع قوله إنه لا يوجد الآن أي تحرك لوقف هذا المشروع». ولكن هذا يمكن أن يتغير. فالموازنة التي قدمها الرئيس ‹باراك أوباما› هذا العام (2012) اعتمدت زيادة كبيرة في نفقات المشروع ITER على حساب خفض كبير في نفقات أبحاث الاندماج الوطنية. ومع ذلك فإن مبلغ 150 مليون دولار أمريكي التي سيتسلمها المشروع هو أقل بمقدار 25% من المساهمة المقررة للولايات المتحدة.

وتواجه الدول الأخرى مصاعب تجاه تعهداتها للمشروع. فقد كافحت الهند لمنح العقود لمؤسساتها. وقد حطم الزلزال الهائل في الشهر 2011/3 قبالة الشاطئ الياباني منشآت أساسية هناك. ويقول ‹V. ڤلاسنكوڤ› [العضو في البعثة الروسية]: «لكل بلد أسبابه الخاصة في التأخير». إلا أنه أسرع قائلا إن روسيا سائرة في التزاماتها حسب ما هو مقرر.

سيبرهن المشروع ITER على ما إذا كان الاندماج ممكن التحقيق، ولكنه لن يبرهن على ما إذا كان قابلا للتطبيقات التجارية. فهناك أسباب كافية للتفكير في أنه لن يكون كذلك. وكبداية، إن الإشعاع الناتج من الاندماج سيكون شديدا جدا، وسيخرب المواد العادية مثل الفولاذ. وستضطر محطة الطاقة النووية الاندماجية إلى إدخال بعض المواد التي لم يجر بعد تطويرها والتي يمكنها أن تصمد لسنوات أمام الرشق البلازمي – وإلا سيلزم إيقاف المفاعل باستمرار للصيانة. فهناك مشكلة وقود التريتيوم الذي يجب أن يحضّر في الموقع، ربما باستعمال إشعاعات المفاعل نفسه.

ويمكن القول إن أكبر عقبة أمام بناء مفاعل وفق المشروع ITER هي التعقيدات الهائلة لهذه الآلة. فكل نظم التسخين الخاصة والأجزاء المصنعة خصيصا لا غبار عليها لأغراض التجربة، إلا أن محطة الطاقة ستحتاج إلى أن تكون أكثر بساطة. يقول ‹S. كاولي› [المدير التنفيذي في سلطة الطاقة الذرية البريطانية]: «لايمكنك تخيل إنتاج طاقة بآلة وهي دون توقف تقرع الأجراس وتطلق صفارات الإنذار». يجب بناء جيل آخر من المفاعلات التجريبية الباهظة الثمن قبل أن تدخل طاقة الاندماج في الشبكة العامة للكهرباء. وبالنظر إلى التطور البطيء للمشروع ITER، لن يكون أي مما ذكر جاهزا للاستخدام قبل منتصف هذا القرن.

وعلى الرغم من هذه النكسات وأن مستقبل طاقة الاندماج غامض ككل، فإنه يصعب أن تجد شخصا على معرفة بالمشروع ITER ويعتقد بأنه لن يتم بناء هذه الآلة. وأحد أسباب ذلك، هو الضغط الممارس من الأقران المشاركين في المشروع. يقول ‹كوشران›: «الفرنسيون مشاركون في المشروع ولن يتراجعوا لأن الولايات المتحدة مشاركة في المشروع ولن تتراجع». ويلاحظ ‹توندَر› أن هناك رؤية سياسية بالنسبة إلى الدول المشاركة – وثمة غرامات كبيرة على الانسحاب منه مبكرا – وهذا أمر يخدم استمرارية المشروع.

وعلى الرغم من تلك الأسباب المشروعة، ولو أنها متشائمة، لعدم الاستمرار بهذا المشروع، إلا أن الكثير من العلماء يؤمنون حقيقة بأن الاندماج هو الأمل الأوحد لتلبية متطلبات العالم من الطاقة. ويقول ‹R. أورباخ› [كبير العلماء في وزارة الطاقة عندما انضمت الولايات المتحدة ثانية إلى المشروع]: «لقد كنت أخشى على طاقة العالم المستقبلية، ولا علم لي من أين ستأتي.» ويضيف قائلا: «إن طاقة الاندماج خالية من غاز ثنائي أكسيد الكربون وغير محدودة في الأساس، وليس لها تأثير في البيئة. فهل لك بالإتيان ببديل مماثل؟» إن معظم علماء الاندماج يعتقدون أن أزمة بيئية لابد من وقوعها على أي حال. وإلى أن يحدث ذلك، ستكون البشرية قد تعلمت درسا يكون عبرة لها، وهو أنه «من الأفضل لنا أن نمتلك مجموعة تقانات لتكون جاهزة للاستخدام»، على حدّ قول ‹كاولي› محذرا. ويستمر الاعتقاد أن المشروع سينجح، لأنه يجب أن ينجح. ■

مراجع للاستزادة

The International Thermonuclear Experimental Reactor. Robert W. Conn et al. in *Scientific American*, Vol. 266, No. 4; pages 102–110; April 1992.

Fusion Energy: Just around the Corner. Geoff Brumfiel in *Nature*, Vol. 436, pages 318–320; July 21, 2005.

Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking. Charles Seife. Viking, 2008.

Fusion as an Energy Source: Challenges and Opportunities. W. J. Nuttall. Report of the Institute of Physics, September 2008.

Fusion's False Dawn. Michael Moyer in *Scientific American*, Vol. 302, No. 3, pages 50–57; March 2010.

***Scientific American*, June 2012**

تتمة الصفحة 11 (شبكة التواصل الاجتماعي النهائية)

تمتد من سطح خلية الميكروب Bf – وبواسطتها يستطيع الجهاز المناعي أن يتعرف وجود هذا الميكروب. وفي عام 2005 أوضح ‹مازمانين› وزملاؤه أن أحد هذه الجزيئات، ويُعرف باسم **السكر A**[1]، يعمل على تحفيز إنضاج الجهاز المناعي. وبعد ذلك، أظهر مختبر ‹مازمانين› أن السكر العديد A يعمل على إعطاء إشارة للجهاز المناعي لكي يقوم بصنع المزيد من الخلايا التائية المنظمة، التي تقوم بدورها بإخبار الخلايا التائية المستحثة للالتهاب بأن تترك الميكروب وشأنه. ولذا فإن سلالات الميكروب Bf التي تفتقد إلى السكر العديد A لا يمكنها البقاء حية في **البطانة المخاطية**[2] للأمعاء، حيث يقوم الجهاز المناعي بمهاجمة الميكروب كما لو كان مُمْرِضا.

في عام 2011 قام ‹مازمانين› وزملاؤه بنشر دراسة في مجلة ساينس Science بينوا فيها تفاصيل المسار الجزيئي المؤدي إلى هذا التأثير كاملا – وكانت تلك أول مرة يُبَيَّنُ مسار جزيئيّ **لعلاقة نفع تبادلية**[3] بين ميكروب وكائن ثديّ. يقول ‹مازمانين›: «يستطيع الميكروب Bf أن يمدنا بتأثير نافع جدا، لا يقوم الدنا الخاص بنا بإمدادنا به، وذلك لسبب ما. بسلوك سبل عديدة، يختار الميكروب جهازنا المناعي – بل يقتحمه». ولكن، على خلاف الميكروبات المرضة، فإن هذا **الاقتحام**[4] لا يثبط أو يخفض من أداء جهازنا المناعي، لكنه يساعده على القيام بوظيفته. وقد يكون لميكروبات أخرى تأثيرات مشابهة في الجهاز المناعي، وذلك كما يذكر ‹مازمانين› بقوله: «هذا هو المثال الأول فقط. وهناك، بلا شك، أمثلة أخرى سوف تأتي».

ويا للأسف، فالميكروب Bf يختفي حاليا مثل الميكروب هليكوبكتر بيلوري بسبب التغيرات في نظام المعيشة خلال القرن الفائت. يقول ‹مازمانين›: «ما فعلناه كمجتمع خلال فترة قصيرة، أدى إلى تغير ارتباطنا بالعالم الميكروبي تماما. وبقيامنا بمجهودات لإبعادنا عن العوامل المسببة للإصابة المرضية، فإننا قد نكون غيرنا أيضا من ارتباطنا بالكائنات النافعة. فهنالك ثمن يجب دفعه لقاء نوايانا الطيبة».

في حالة الميكروب Bf، فإن الثمن ربما يكون زيادة ملحوظة في حالات الإصابة **باضطرابات المناعة الذاتية**[5]. فمن دون قيام السكر العديد A بإعطاء إشارة للجهاز المناعي لكي ينتج المزيد من الخلايا التائية المُنظِّمة، فإن الخلايا التائية المولعة بالقتال تبدأ بمهاجمة كل شيء في مرمى البصر – بما في ذلك أنسجة الجسم ذاتها. ويؤكد ‹مازمانين› أن ما حدث أخيرا من زيادة معدلات الإصابة باضطرابات المناعة الذاتية، مثل **مرض كرون**[6]، و**الداء السكري من النوع الأول**[7]، و**التصلب المتعدد**[8] علما بأن هذه تقدر بسبع أو ثماني مرات، مرتبط بانخفاض أعداد الميكروبات النافعة. يقول ‹مازمانين›: «جميع هذه الأمراض لها مكون جيني وآخر بيئي. وأعتقد أن المكون البيئي له علاقة بالبنية الميكروبية وما يحدث فيها من تغيرات لها تأثير في جهازنا المناعي.» إن التغير في الميكروبات، الذي يحدث مع التغيرات في الطريقة التي نعيش بها – ويتضمن ذلك الانخفاض في أعداد الميكروب Bf وغيره من الميكروبات المضادة للالتهابات – يؤدي إلى نقص في تطور الخلايا التائية المُنظِّمة. وفي البشر الذين لديهم حساسية جينية، فإن هذا التغير قد يؤدي إلى اضطرابات المناعة الذاتية، وغيرها من الأمراض.

وعلى الأقل، فهذه هي الفرضية الآن. فعند هذه المرحلة من البحث، نجد أن العلاقات بين انخفاض الإصابة بالميكروبات في الإنسان وزيادة معدلات الأمراض المناعية هي فقط مجرد **ترابطات** correlations. وكما هو الحال في قضية البدانة، فإن فصل السبب عن التأثير الناتج قد يكون أمرا صعبا. فإما أن فَقْد الميكروبات الداخلية بالإنسان أدى إلى ارتفاع هائل لمعدلات أمراض المناعة الذاتية والبدانة أو أن المستويات المرتفعة من اضطرابات المناعة الذاتية والبدانة قد أوجدت مناخا غير موات لهذه الميكروبات الأصلية في الإنسان. ولدى ‹مازمانين› قناعة بأن الفرضية الأولى هي الصحيحة – أي إن التغيرات في البنية الميكروبية تشارك بقدر ملحوظ في المعدلات المتزايدة لحدوث الاضطرابات المناعية. ولكن «يظل علينا، نحن العلماء، عبء إثبات ذلك بأن نأخذ هذه الترابطات ونثبت أن هناك سببا وأثرا ناتجا منه وذلك بفك الألغاز المتعلقة بالآليات الكامنة وراء تلك الترابطات»، وذلك كما يقول ‹مازمانين› الذي يضيف: «وهذا ما سنقوم به مستقبلا». ■

(١) polysaccharide A
(٢) mucosal lining
(٣) mutualism
(٤) hijack
(٥) autoimmune disorders
(٦) Crohn's disease
(٧) type1 diabetes
(٨) multiple sclerosis

مراجع للاستزادة

Who Are We? Indigenous Microbes and the Ecology of Human Diseases. Martin J. Blaster in *EMBO Reports*, Vol. 7, No. 10, pages 956–960; October 2006. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1618379

A Human Gut Microbial Gene Catalogue Established by Metagenomic Sequencing. Junjie Qin et al. in *Nature*, Vol. 464, pages 59–65; March 4, 2010.

Has the Microbiota Played a Critical Role in the Evolution of the Adaptive Immune System? Yun Kyung Lee and Sarkis K. Mazmanian in *Science*, Vol. 330, pages 1768–1773; December 24, 2010. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3159383

***Scientific American*, June 2012**

العقل المُبتهج(*)

إن فهما معاصرا للآلية التي يُولِّد بها الدماغ شعورنا بالمتعة قد يقود إلى تحسين طرق علاج الإدمان والاكتئاب، بل وحتى إلى نشوء علم جديد للسعادة.

<M. L. كرينگلباخ> - <K. C. بيريدج>

في خمسينات القرن العشرين وفي جامعة تولين، باشر الطبيب النفسي <R. هيث> عمله في برنامج مثير للجدل يقوم على زرع أقطاب كهربائية جراحيا في أدمغة مرضى أكّد التشخيص النهائي إصابتهم بالصرع أو الاكتئاب أو الفصام أو غيرها من الحالات العصبية المستعصية. وهذا البرنامج كان يهدف في مرحلته الأولى إلى تحديد المواقع البيولوجية لتلك الأمراض وتنبيهها اصطناعيا، أملا بالشفاء منها.

وبحسب ما أدلى به <هيث> كانت النتائج مدهشة للغاية، حيث أصبح المرضى المصابون **بالجامود** catatonic شبه الكامل، والميؤوس من حالتهم، قادرين ليس على الابتسام فقط، بل حتى على الضحك. غير أن التحسن المذكور كان قصير الأمد، فالأعراض سرعان ما عادت للظهور من جديد بعد إيقاف التنبيه.

ولإطالة أمد المفعول العلاجي قام <هيث> بتزويد مجموعة من المرضى بأزرار يمكنهم الضغط عليها كلما شعروا بحاجة ملحة إلى ذلك. وقد لاحظ <هيث> أن بعض أولئك المرضى يضغطون على الأزرار بتواتر كبير، وأن أحدهم - وهو مريض لوطي يبلغ من العمر 24 عاما ويتلقى العلاج لمعاناته من الاكتئاب والمثلية الجنسية - كان مهووسا بالضغط على زر التنبيه، حيث وصل عدد التنبيهات التي أطلقها إلى نحو 1500 تنبيه على مدار الساعات الثلاث المخصصة للجلسة العلاجية الواحدة. وكما أفاد <هيث> فإن التنبيه القهري، الذي كان هذا الشخص (المريض B-19) يلحقه بنفسه، كان يولّد لديه خليطا من مشاعر المتعة واليقظة والرضا، ومشاعر المتعة هذه هي ما دفعه أيضا إلى الاحتجاج بشدة على انتهاء الجلسة العلاجية.

لقد أسهمت تلك التجارب في الكشف عن مجموعة من **البنى** structures التي يمكن أن نطلق عليها في المستقبل مصطلح **مركز المتعة** pleasure center في الدماغ. كما تمخضت عنها، في مجال العلم ومجال الثقافة العامة على حد سواء، حركة ترمي إلى تحسين فهمنا للأرضية البيولوجية التي تقوم عليها مشاعر المتعة. وفي سياق مواصلة استقصاء المناطق الدماغية التي حدد معالمها <هيث> وغيره، تسنى لعلماء البيولوجيا العصبية في السنوات الثلاثين اللاحقة الكشف عن هوية المواد الكيميائية التي تستقبلها وترسلها تلك المناطق وتقوم بنشر الأنباء السارة من خلالها. وهكذا، فقد بدأ الناس يتخيلون عوالم جديدة رائعة قد تتحقق السعادة الفورية فيها عبر تنبيه هذه المراكز.

بيد أن اكتشاف مركز المتعة المفترض في الدماغ لم يُحدث أي انعطافات في طرق معالجة الأمراض النفسية، بل حتى لعله قد ضلل العلماء في تفكيرهم وجعلهم يتوهمون بأنهم قد

(*) THE JOYFUL MIND

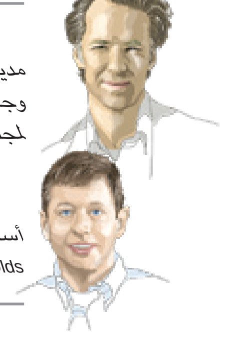
باختصار

كشفت أبحاث جديدة عن وجود بؤر معينة في الدماغ يؤدي تنبيهها إلى تعزيز الأحاسيس بالمتعة.

ولكن لا بد من تمييز هذه البؤر التلذذية من «دارة المكافأة (الجزاء)» التي كان يُعتقد سابقا أنها تشكل الأساس الذي تُبنى عليه مشاعر المتعة. في حين أنها تُعتبر اليوم حيزا لتشكل الرغبة أكثر منه لتشكل المتعة.

تتلقى مراكز الدماغ العليا معلومات من دارات المتعة والمكافأة آنفة الذكر، فتترجمها إلى إحساس شعوري بالوهج الدافىء الذي يرتبط بالمتعة في أذهاننا.

إن فك الارتباط بين نُظم الدماغ المولّدة للرغبة، وتلك المولّدة للولع، قد يكون مسؤولا عن نشوء السلوك الإدماني، وكذلك مدخلا إلى إيجاد طرق علاجية جديدة.



المؤلفان

Morten L. Kringelbach

مدير الفريق البحثي Hedonia TrygFonden بجامعة أوكسفورد وجامعة آرهوس الدانماركية، وهو عضو في المجلس الاستشاري لمجلة ساينتفيك أمريكان.

Kent C. Berridge

أستاذ في علم النفس والعلوم العصبية لدى المعهد العالي James Olds بجامعة متشيگان.

أدركوا آلية **تكويد**(١) المتعة وتوليدها في الدماغ. فالدراسات التي تُجرى حاليا، سواء على القوارض أو على الإنسان، تشير إلى أن تنبيه هذه البنى بالمساري الكهربية أو المواد الكيميائية، لا يولّد في الحقيقة أي إحساس بالمتعة، بل من شأنه تعزيز الولع بتهييج الذات وحسب، ومن ثم تحريض دافع الاستثارة الذاتية ذي الطابع الهوسي.

وباستخدام التقنيات الحديثة للبيولوجيا الجزيئية، إضافة إلى طرائق محسنة لتنبيه أعماق الدماغ، فإن مختبراتنا وبعض المختبرات الأخرى تعمل الآن على إعادة تحديد معالم منظومة **دارات المتعة في الدماغ** the brain's pleasure circuitry، حيث تبين لنا أن النظم المولّدة للمتعة في الدماغ أكثر تقييدا وأعقد بكثير، مما كنا نعتقد سابقا. ونأمل من خلال تحديد الأسس العصبية للمتعة، بأن يتسنى لنا تمهيد الطريق للتوصل إلى تطوير طرائق علاجية أكثر دقة وفعالية للاكتئاب والإدمان وغيرها من الاضطرابات، وربما لتقديم رؤى جديدة تساعدنا على الكشف عن أسس السعادة البشرية.

مسارٍ مضلّلة(*)

بصرف النظر عن تجليات التجربة المعيشة؛ سواء أ كانت رعشات ابتهاج أم إحساسا بسريان موجة دافئة من الرضا، فإن المتعة هي أكثر من مجرد فائض عابر لا يسعى إليه المرء إلا بعد تلبية حاجاته الأساسية. فالإحساس بالمتعة يحتل حقا مكانة مركزية في الحياة، إذ إنه يعزّز ويُديم اهتمام الحيوانات بالأشياء التي تحتاج إليها للبقاء على قيد الحياة؛ فالمشاعر الإيجابية التي يستثيرها الغذاء والجنس، والتواصل الاجتماعي في بعض الحالات، هي ضروب من المكافأة التي تمنحها الطبيعة لجميع الحيوانات، بما في ذلك البشر.

لقد تم تقديم أولى التصورات الواضحة عن الأساس البيولوجي لهذه المشاعر قبل نحو 60 عاما من قِبَل المكتشفَيْن المبدعَيْن لما أُطلق عليه حينذاك مصطلح **مساري المتعة**



pleasure electrodes، حيث كان <J. أولدز> و<P. ميلنر> [من جامعة ماكگيل McGill] يبحثان عن مناطق في الدماغ من شأنها التأثير في سلوك الحيوان. كما أن هناك دراسات سابقة أجريت في جامعة ييل Yale تَمَّ فيها غرس مسارٍ كهربية في أدمغة مجموعة من الفئران، وتوصلت هذه الدراسات إلى تحديد منطقة يمكن أن يؤدي تنبيهها إلى جعل الحيوان يتجنب أي فعل سبق وأن تزامن مع هذا التنبيه. وأثناء قيام <أولدز> و<ميلنر> بمحاولة تكرار التوصل إلى ما حققته تجربة جامعة ييل من نتائج، اكتشفا مصادفة منطقة تدفع هذه القوارض إلى القيام بخطوات عملية لتنبيهها بالطريقة نفسها التي تلجأ إليها هذه الحيوانات عادة في تكرار أي فعل أو سلوك تحصل من خلاله على مكافأة ملائمة.

فعندما كان الباحثان يستقصيان مناطق مختلفة من الدماغ بواسطة المساري الكهربية، فوجئا بوجود مستوى معين من الدماغ – لم يكن مدرجا على جدول البحث أساسا – تؤدي ملامسته على ما يبدو إلى استمتاع الحيوانات بتيار كهربائي معتدل. فالجرذان التي وُضعت في صندوق كبير كانت تعود

(*) MISLEADING ELECTRODES

(١) encoded

مرارا وتكرارا إلى الزاوية التي قد تتلقى فيها صدمة كهربائية خفيفة من قبل الباحثين. وقد لاحظ ‹أولدز› و‹ميلنر› أنه يمكن توجيه القوارض إلى أي مكان تقريبا باستخدام هذه الطريقة. حتى إنها كانت في بعض الحالات تفضل التنبيه على الغذاء. فعندما كان أحد الباحثين يضغط على زر التنبيه عند وصول الجرذان إلى منتصف الطريق في الدهليز الذي يَعِدُ في نهايته بوجبة هريس لذيذة الطعم، كانت هذه الكائنات تبقى ثابتة في مكانها، ولا تكلف نفســها عناء متابعة الســير للوصول إلى وليمتها الموعودة.

وما أثار دهشــة الباحثــين أكثر من ذلك، هــو أن الفئران، المزودة بوصلات المســاري، كان بوسعها تنبيه أدمغتها بنفسها من خلال الضغط على رافعة مخصصة لهذا الغرض. وقد لاحظ ‹أولــدز› و‹ميلنر› أنها كانت تفعل ذلك بطريقة وسواســية في معظم الحالات، حيث وصل عدد التنبيهات لدى بعضها إلى أكثر من 1000 تنبيه في الساعة الواحدة[١]. كما لاحظ الباحثان أيضا أن الحيوانــات – عندما يُقطع عنها التيــار الكهربائي – كانت تقوم بالضغط على الرافعة بضع مرات ثم تذهب إلى النوم.

لقــد دفعت النتائج الآنفــة الذكر ‹أولــدز› و‹ميلنر› إلى التصريح بما يلي: «لربما اكتشفنا داخل الدماغ مقر منظومة لها وظيفة محددة تتمثل بالتأثير في السلوك عبر آلية المكافأة». وتتكون المنظومة التــي حدد معالمها الباحثان من مناطق عدة بما فيها **النــواة المتكئــة** nucleus accumbens، المتمددة على قاعدة **الدماغ الأمامي** forebrain وقاعدة **القشــرة الحزامية** cingulate cortex، التي تشــكل بدورها طوقا حول حزمة ليفية تصــل نصف كرة الدماغ اليمنى باليســرى. وهكذا، صارت هــذه النواة تحظــى بتقدير كبير باعتبار أنها تشــكل قاعدة تشغيل **دارة المكافأة** reward circuit في الدماغ.

وخلال فتــرة وجيزة تمكن علماء آخرون من التوصل إلى النتائج ذاتها بناء على اكتشافات مماثلة تمخضت عن تجارب أجروهــا على الثدييات العليا والبشــر. وعلى وجه التحديد، ذهب ‹هيث› بتفســيره لنتائج أبحاثه إلى أبعد حد، حيث أفاد بأن تنبيه المناطق المذكورة لا يُدعّم الســلوك فحسب، بل يولّد أيضا مشاعر الغبطة أو **الشمق** euphoria. لقد أصبحت هذه البنــى في أذهان العديــد من العلماء وأذهــان عامة الناس، معروفة تحت مُسمّى **مركز المتعة الأعلى في الدماغ**[٢].

وعلــى الرغم من جميع ما ســبق ذكره، فقد بدأنا – نحن الاثنان – منذ نحو عشــر سنوات نتساءل، ما إذا كانت عملية التنبيه الذاتي الكهربائي أفضل ســبيل لقياس المتعة بالفعل. كيــف يمكننا التأكد من أن ما يدفع **المُجــرَّب عليهم** subjects لتنبيه تلك المناطق، إنما هو ولعهم بالشــعور الذي تثيره لديهم هذه الطريقة، وليس لســبب آخر؟ ولاستقصاء منظومة دارات المتعة بطريقة أكثر دقة، شعرنا بأننا بحاجة إلى ابتكار طريقة مختلفة لقياس العوامل الحقيقية المســببة للمتعة لدى المُجرَّب عليهم، بما في ذلك الحيوانات.

قياس المتعة(*)

إن قياس المتعة في التجارب التي تُجرى على البشــر هو أمر يســير إلى حد بعيد، فهو لا يتطلب ســوى طرح الأسئلة. وبالطبع، فــإن القيم الناتجة لا تُحيط بالأحاســيس الداخلية تماما، أو لا تعكســها بصورة دقيقة. إضافــة إلى ذلك، فإن حيوانات المختبر لا يمكن استجوابها – وهي الأكثر استخداما في الاستقصاءات البيولوجية.

هناك طريقة بديلة تعــود أصولها إلى ‹Ch. داروين›. ففي كتابه الذي صدر سنة 1872 تحت عنوان **التعابير الانفعالية عند الإنســان والحيوانات**[٣] يشير ‹داروين› إلى أن شعور الحيوانات يتغيــر تبعا للظروف البيئية – وبتعبير آخر، تتغيّر تعابيــر وجوهها. لقد أصبحنا نعرف فــي الوقت الراهن أن الآليــات العصبية التي تقوم عليها هذه التعابير تعمل بطريقة متماثلة في معظم أدمغة الثدييات العليا، مما يعني أنه قد جرت المحافظــة على بعض إيماءات الوجه كمشــترك بين حيوانات بعيدة الصلة بعضها عن بعض، كالقوارض والبشــر، بما في ذلــك «الوجه المبتهج»؛ أي تعابير الابتهاج التي ترتســم على وجوهنا ردا على مذاق طعام لذيذ.

والغذاء هو أحد أفضل السبل الكونية للوصول إلى المتعة، وهو شــرط أساسي من شــروط البقاء على قيد الحياة. كما أنه يمثل إحــدى أهم أدوات التجربة المتوفرة لعلماء النفس، وعلماء الجهاز العصبي، والمُستخدَمة من قِبَلِهم في دراسة سلوك الحيوان. ونحن بدورنا وجدنا في دراساتنا، أن الاستجابة للغذاء هي بمثابة نافذة نرصد من خلالها مختلف ضروب المتع غير المُعلنة.

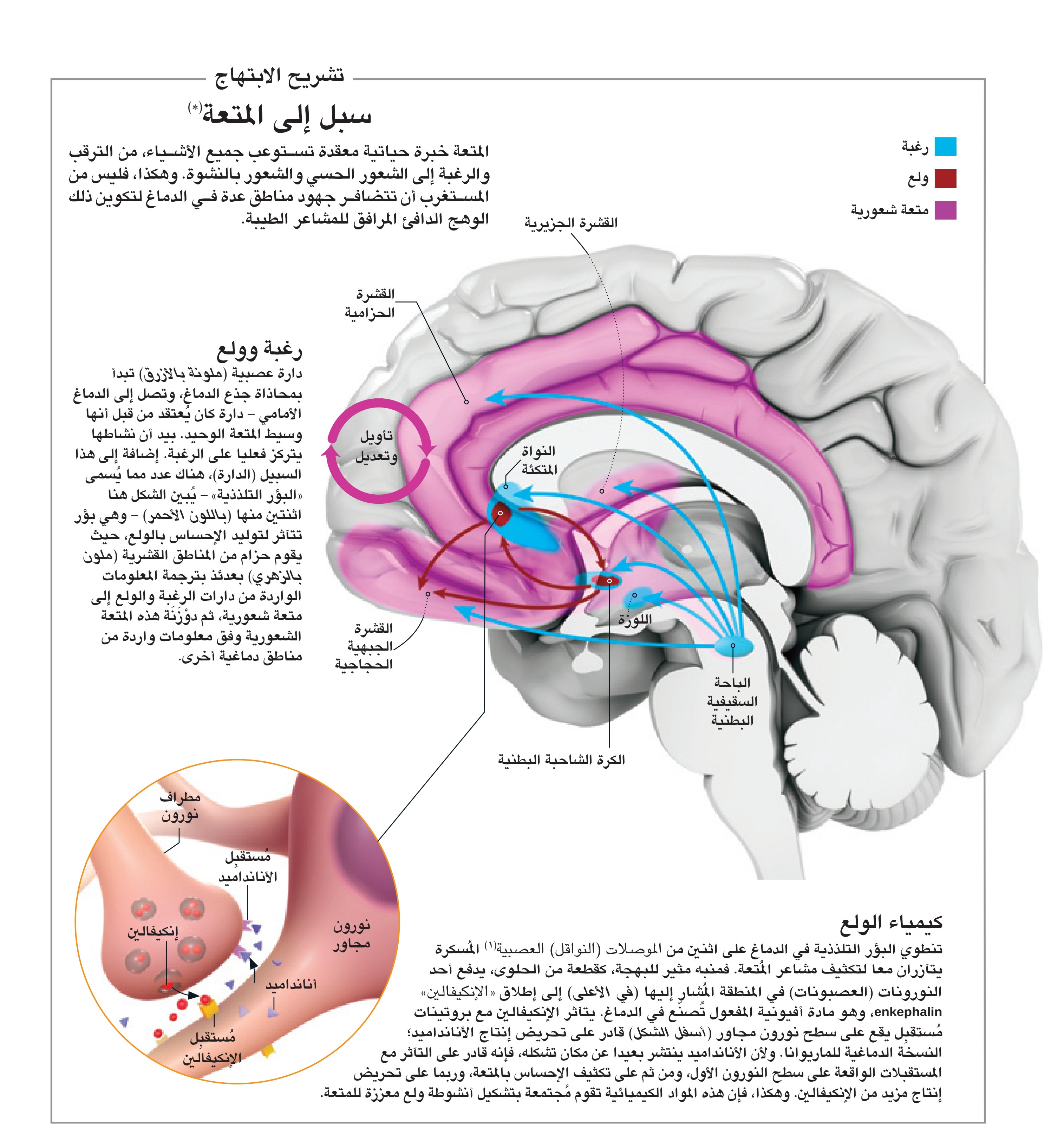
إن الــذي أمضى وقتا في مراقبــة الرُّضّع، يعلم جيدا أنه حتى صغار البشــر لهم أســاليبهم في إرشاد القائمين على رعايتهم بخصوص استساغة وجبة من الطعام. فالطعم الحلو يدفع إلى لعق الشــفتين بطريقة تنــمّ عن الرضا، في حين أن

(*) A MEASURE OF PLEASURE

(١) انظر: «Pleasure Centers in the Brain,» by James Olds; Scientific American, October 1956

(٢) the brain's chief pleasure center

(٣) The Expression of the Emotions in Man and Animals



الطعم المرّ يُفضي إلى هزّ الرأس وفتح الفم ومسحه بعنف. وما نراه من ردود أفعال لدى الأطفال، نجده أيضا عند الجرذان والفئران وغيرها من الثدييات العليا غير البشرية. فكلما كان المُجرَّب عليهم يستمتعون بمذاق الطعام أكثر، كلما لعقوا شفاههم بتواتر أكبر. وبالطبع، يمكننا مراقبة الكائنات أثناء التجربة ورصد استجاباتها للطعام بالفيديو، وتسجيل عدد المرات التي تمدّ فيها ألسنتها بسرعة، كما لو أنها تريد التقاط آخر **جزيء** molecule من نكهة الطعام. كما يمكننا قياس درجة الولع بمنبه ذوقي معين. وقد قمنا باستخدام تلك المعلومات لتحديد موقع المتعة الفعلي في الدماغ.

(*) Paths to Pleasure
(1) neurotransmitters

الرغبة ليست ولعا(*)

من بين أولى اكتشـــافاتنا، كان اكتشاف أن المتعة لا تنشأ في الدماغ حيثما – أو كيفما – شاء لها تفكير سابق أن تنشأ. فالمناطق التي تم تحديدها لأول مرة من قبل ‹أولدز› و ‹ميلنر› وآخرين – وهي مناطق تقع في مقدمة الدماغ – تتفعّل بالناقل العصبي «الدوبامين» الذي تُطلقه **نورونات**(1) تنبثق من مناطق قريبة من **جذع الدماغ** the brain stem. فإذا افترضنا أن هذه الباحات الجبهية تَنْظُمُ المُتعة بالفعل، فإن إغراقها بالدوبامين، أو حرمانهــا الكامل منه، يجب أن يُفضي إلى تغير في كيفية استجابة الحيوان لمنبه مُثير للمُتعة. وهذا ما لم نجده.

ولإجراء هذه التجارب، قام زميلنا ‹X. زوانگ› [من جامعة شيكاغو] بهندسة وراثية لفئران تفتقر إلى بروتين مُتخصص باسترداد الدوبامين فور انطلاقه من نورون مستثار، وإعادته إلى داخل الخلية. وهذا ما يفسّر أن أكثر ما يُميز الحيوانات التي تلقّت **طفرة الحـذف** knockout mutation هذه، هو زيادة تركيــز الدوبامين في ســائر أرجاء أدمغتهــا. ومع ذلك، فإن هــذه الفئران لم تبــدُ لنا أكثر اســتمتاعا بالطعام الحلو من رفاق القفص غير المُعدلة وراثيا. ومقارنة بالجرذان الطبيعية، فــإن الفئران المُدمنــة على الدوبامين تجري بالفعل بســرعة أكبر للحصول على مكافآتهــا من الحلوى، غير أنها لا تلعق شــفاهها بتواتر أعلى مما هو عليه لدى الفئران الطبيعية؛ بل علــى العكس تماما، فهي تفعل ذلك بتواتر أقل مقارنة بفئران بمعدل وسطي من الدوبامين.

إننا نراقب الأمر ذاته عنــد جرذان تم رفع تركيز الدوبامين لديها بوسائل أخرى؛ مثلا، بحقن الأمفيتامين في **النواة المتكئة** nucleus accumbens وهــو مادة ترفع تركيــز الدوبامين في تلك المنطقة. ويجدر التذكير هنا مرة أخرى، بأن رفع تركيز الدوبامين عنــد هذه الجرذان، بطريقة كيميائيــة، يدفعها – بالفعل – إلى بذل مزيد من الجهد في الحصول على الأطعمة السكرية؛ ولكنه في الوقت نفسه، لا يبدو أنه يُعزّز استمتاعها بتلك الأطعمة.

وعلى العكس من ذلك، فإن الجرذان المحرومة من الدوبامين تفقد رغبتها في الأطعمة السكرية كليا؛ وتكون بالفعل معرضة للمــوت جوعا، ما لم تحصل علــى الرعاية اللازمة. ولكن هذه الجــرذان المحرومــة من الدوبامــين، وعلى الرغــم من زوال اهتمامها بالطعام، فإنها تبقى قادرة على اكتشاف أي صنف من الحلوى، ولعقه جيدا إذا ما وُضع على شاربيها.

وهكــذا، فإن آليات تأثير الدوبامين تبدو أكثر دقة مما كان يُعتقــد من قبل. وهذه المــادة الكيميائية تبــدو أكثر انخراطا فــي تكويــن الحافــز مــن تكوين الإحســاس الفعلــي بالمُتعــة بحد ذاتها. وعند البشر أيضا، يبدو أن مســتويات الدوبامين تتبع عن قرب تعبيــر الأفراد عــن عَوزهم لوجبة لذيذة، أكثر مــن تعبيرهم عن مدى «محبتهم» لها.

لا تنشأ المتعة في الدماغ حيثما – أو كيفما – شاء لها تفكير سابق أن تنشأ.

وقد تنطبــق المقـولــة ذاتها على **الإدمان** addiction، **فالأدوية المرشّحة لسـوء الاسـتخدام** drugs of abuse تغمــر الدماغ بالدوبامين؛ وبوجه خاص، المناطق المرتبطة **بالرغبة** wanting. وهذا الوابل من الدوبامين لا يُطلق العنان للتوق العارم وحسب، بل يجعل الخلايا في هذه المناطق أكثر حساســية عند تعرضها مجددا للــدواء في المســتقبل. إضافة إلى ذلك، فــإن أبحاث زميلنا ‹T. روبنســون› [من جامعة متشــيگان] تشير إلى أن ارتفاع درجة الحساســية هذه قد يستمر شــهورا أو سنوات. ومن آثار الدوبامين المشــؤومة – كما يرى ‹روبنســون› – هو ذلك الشــعور الملحّ الذي يلازم المدمن ويدفعه إلى استهلاك الدواء (المخدر)، حتى ولو لم يعد يستمتع به.

وبناء على هذا الفهم الجديد، نعتقد أن مســاري «المتعة»، فــي الوقت الذي تحرض فيه على تراكم هذه المادة الكيميائية في أدمغة الجرذان والبشــر، ربمــا لا تكون قادرة على توليد المتعة بالقدر نفســه المُفترض أصلا. وفي ســياق مســاعينا الراميــة إلى دعم هــذه النظرة، قمنا بتفعيل المســاري التي ترفــع تركيز الدوبامــين في النواة المتكئــة، فتبين لنا أن هذا الإجراء يعزز لدى جرذ التجربة حافز الأكل والشــرب، ولكنه لا يجعــل الطعام أكثر إثارة للمتعة، بــل على العكس تماما. فالجرذان التي حُرّضــت كهربائيا على التحرك وتناول طعام حلوٍ، كانت تمســح أفواهها وتهز رؤوسها؛ وهما علامتان من علامــات النفور الفعلي؛ كما لو أن التيــار الكهربائي جعلها تتذوق الحلو مرا أو تشمئز منه. والتحريض الكهربائي الذي يدفع الجرذان إلى استهلاك كميات كبيرة من الطعام، دون أن يضاعف متعتها به، هو بمثابة دليل على أن الرغبة والولع يتم نَظْمُهما بآليات مختلفة في الدماغ.

إننا نعتقد بوجود هذا التباين في الآليات عند البشر أيضا، لا سيما وأن التحريض الكهربائي عبر مساري المتعة الكلاسيكية، ســبق وأن أدى إلى ازدياد الرغبة في تناول الشراب بشدة عند

(*) WANTING IS NOT LIKING
(1) neurons أو عصبونات.

مريــض واحد على الأقل. فضلا عن ذلــك، فقد أفضى التنبيه الكهربائــي عند آخرين، بمن فيهم المريــض B-19، إلى تأجيج الحاجة الجنسية، وذلك في الوقت الذي كانت تعتبر فيه الرغبات الجنســية الملحّة دليلا على المتعة. بيد أننا لم نعثر إطلاقا، أثناء مراجعاتنا الواســعة للأدبيات العلمية، على ما يُشــير إلى أن مريضا واحدا قد عبّر بوضوح عن اســتمتاعه بتلك المســاري المغروســة في رأســه. وحتى المريض B-19 لم يرفع صوته قطُّ ويقــول ذات مرة: «آه... ما ألذ هذا الشــعور!...». وعوضا عن ذلك، كان تشغيل مساري المتعة لديه يجعله، كغيره، يطلب المزيد من التنبه – وعلى الأرجح، لا «ولعا به»، بل لأنه أُعدَّ ليرغبه.

البؤر التلذذيّة(*)

بما أن الرغبة والولع يتشاركان معا في صنع تجربة مَعيشَة تتضمن الشــعور بالمكافأة. فمن المنطقي أن يتّضح أخيرا أن مراكز المتعة الفعلية في الدماغ – وهي المراكز المســؤولة عن توليد الأحاســيس الممتعة بصورة مباشرة – إنما هي مراكز تقع ضمن بعض البُنى التي ســبق وأن تبيّن أنها تُشكل جزءا من «دارة المكافأة». هذه البؤر المدعوة **البؤر التلذذية** hedonic hotspots، تقع إحداها في المنطقة السفلية للنواة المتكئة، أي في المنطقة المعروفة باسم **القشرة الإنسية** medial shell. وتوجد بؤرة ثانية داخل **الكرة الشــاحبة البطنيــة** ventral pallidum وهــي بنية تقــع عميقا بالقرب مــن قاعدة الدمــاغ الأمامي، وتستقبل معظم إشعاراتها من النواة المتكئة.

لتحديــد هذه البؤر، قمنا بالبحث عــن مناطق في الدماغ يُفضي تنبيهها إلى اشتداد الإحساس بالمتعة مثلا، من خلال جعل قطع الحلوى تبدو أطيب مذاقا. وقد تبين لنا أن تنبيه هذه البؤر كيميائيا بمادة **الإنكيفالين** enkephalin، وهي مادة شبيهة بالمورفين يُنتجها الدماغ، يزيد من ولع الجرذ بالحلويات. أما **الأناندامايــد** anandamide المكافئ الدماغي للمادة الفعّالة في الماريوانا فشأنه في ذلك شــأن «الإنكيفالين». وهناك هرمون آخر يُدعى **أوريكســين** orexin يطلقه الدماغ أثناء الجوع وهو مادة قادرة بدورها على تنبيه البؤر التلذذية، والمســاهمة في تعزيز الاستمتاع بالطعام من خلال ذلك.

إن كل واحدة من هذه البؤر لا تشــكل ســوى جزء واحد مــن بنية أكبر يبلــغ حجمها مليمترا مكعبــا واحدا فقط في دماغ الجــرذ، وربما لا يتجاوز ســنتمترا مكعبا واحدا عند الإنســان. وإضافة إلى ذلك، فإن هــذه البؤر يتصل بعضها ببعــض، بطريقة تذكرنا بجزر الأرخبيل، ولكنها تترابط أيضا بمناطق الدماغ الأخرى التي تقوم بمعالجة إشــعارات المتعة، مشكلة بذلك دارة متكاملة فعّالة للمتعة.

ودارة المتعة هي دارة مرنة إلى حد بعيد. فبحسب خبرتنا، لا يــؤدي تعطيل أي واحد من مكوناتهــا بصورة منفردة إلى إضعاف الاستجابة النموذجية لنوع قياسي من أنواع الحلوى، إلاّ في حالة اســتثنائية واحدة، وهي حالة تظهر بعد تخريب «الكرة الشاحبة البطنية» الذي يبدو أنه يفضي بالحيوان إلى الإحســاس بالقرف من الطعم اللذيذ، ويســلبه بالتالي قدرته على الاستمتاع بالطعام.

ومــن جانــب آخر، فإن الوصــول إلى حالة من الشــمق الشديد هو أصعب من تحقيق مســرات الحياة اليومية. وقد يعود الســبب في ذلك إلى ما يترتب على رفع منســوب المتعة إلى أعلى مســتوياته، وهو إجراء نطبّقه في مختبرنا الخاص بالحيوانات، ويتمثّل بضخ دفقات من المتعة بواســطة التنبيه الكهربائــي. وتكثيف المتعة إلــى درجاتها القصوى يقتضي، على الأرجــح، تفعيل كامــل عناصر الشــبكة الخاصة بها بصورة فورية، فاستبعاد أي مكون من مكونات الدارة يُفضي إلى تراجع درجات المتعة.

ولا يزال الغموض يكتنف السؤال المتعلق بما إذا كانت دارة المتعة والكرة الشــاحبة البطنية على وجه الخصوص، تعملان بالطريقة نفســها عند الإنســان. ولا يراجع العيادات الطبية ســوى عدد قليل من المرضى المصابــين بأضرار محصورة في هذه البنى دون أذيّات في المناطق المجاورة، وهذا ما يزيد مــن صعوبة الحكم عما إذا كانت «الكرة الشــاحبة البطنية»، أو غيرها من مكونات الدارة، تؤدي دورا أساســيا في توليد المتعة عند الإنســان. وهناك مريض نعلم أنه أُصيب بأذية في الكرة الشاحبة البطنية إثر تناوله جرعة كبيرة جدا من إحدى المــواد المخدرة. وقــد أفاد هذا المريض فــي وقت لاحق، بأن كيانه العاطفي مليء بمشــاعر الاكتئاب، وغياب الأمل وتأنيب الضمير، وأنه يشعر بزوال قدرته على الاستمتاع. ومن الممكن لهذا التصريح، أن يدعم الفكــرة القائلة بوجود دور محوري لهذه البنية التي لم تلقَ من قبل ما تستحقه من تقدير.

كفى(**)

لا تقوم الــدارة بمفردها بنظم مشــاعر المتعــة، فإلحاق الوهج الدافئ الملازم للمتعة بخبرة الشــعور أو خبرة التجربة المعيشــة، مرهون بالدور الذي تؤديه مناطق دماغية أخرى في هذه العملية. فهذه البنى العليا تســاعد على تحديد منســوب

(*) HEDONIC HOTSPOTS
(**) ENOUGH IS ENOUGH

التتمة في الصفحة 41

استثمار الرياح مصدرا للطاقة المتجدِّدة(*)

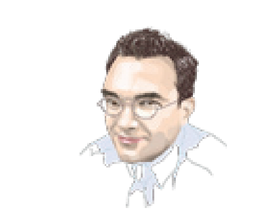
إذا كان للطاقة المتجدِّدة أن تنطلق، فنحن بحاجة إلى طرائق جيدة لتخزينها للأوقات التي تكون فيها الشمسُ محتجبة والرياحُ ساكنة.

<D. كاستلْفِتشي>

لكي تدرك أبعاد العقبة الكؤود التي تواجه الطاقةَ المتجدِّدة، حسبك أن تنظر إلى الدانمرك؛ تلك الدولة الصغيرة التي تمتلك بعض أكبر **مزارع الريح** wind(mill) farms في العالم. ومع ذلك، وبالنظر إلى أن طلب المستهلك للكهرباء غالبا ما يكون في حدوده الدنيا عندما تكون الرياحُ أشدَّ ما تكون، تضطرُّ الدانمرك إلى بيع فائضها من الإلكترونات إلى الدول المجاورة بأبخس الأثمان، وما تلبث أن تعود لتشتري الطاقةَ بأسعار أعلى بكثير عندما يتزايد الطلب عليها. ونتيجة لذلك فإن المستهلكين الدانمركيين يدفعون إلى حد ما أعلى أسعار الكهرباء في العالم.

وتواجه المرافقُ العامة في ولايتَيْ تكساس وكاليفورنيا حالة مشابهة من اللاتوائم بين العرض والطلب؛ فتضطر أحيانا إلى أن تشتري من زبائنها الطاقة التي تولدها طواحينهم الهوائية ومزارعهم الشمسية. ومن الناحية النظرية، فإن بإمكان الريح والشمس تزويد الولايات المتحدة وعدد من الدول الأخرى بكامل حاجتها من الكهرباء. أما على الصعيد العملي، فقد وجدت وزارةُ الطاقة الأمريكية أن كِلا المصدرَيْن أعجز من أن يوفِّرا أكثر من نحو 20 في المئة من مجمل الطاقة القصوى لإقليم ما. وخارج نطاق تلك النقطة، يصبح من الصعب جدّا الموازنة بين العرض والطلب. وهكذا فإن ما نحتاج إليه حاليّا هو استنباط طرائق رخيصة وفعّالة لتخزين الطاقة التي يتم توليدها من الرياح عندما تكون نشطة، ومن الشمس عندما تكون ساطعة، والاستفادة منها فيما بعد.

والواقع أن تقانات معيَّنة مثل: **المغانط الفائقة الموصلية**[1] و**المكثفات الفائقة**[2] و**عَجَلات الموازنة** flywheels المتطوِّرة تُعَدُّ مكلفة جدّا لهذا الغرض، أو أنها غير قادرة على الاحتفاظ بالطاقة على نحو فعّال مُـدَدا طويلة. وقد تولت مجلة ساينتفيك أمريكان دراسة خمس تقانات يمكنها أن تؤدي هذه المهمة، وتستطيع كلّ منها أن تخزن – ولعدة أيام – كميات الطاقة اللازمة للإبقاء على مدينة كبرى برمَّتها نابضة بالحياة. وقد طلبنا إلى لجنة من الخبراء تقييم كلِّ تقانة على حدة، استنادا إلى ثلاثة معايير هي: ما مدى وثوقية التقانة وإمكان تطوُّرها؟ وما مدى الجدوى



المؤلف

Davide Castelvecchi

محررٌ مشارك في مجلة ساينتفيك أمريكان، مقيم في روما.

(*) GATHER THE WIND العنوان الأصلي: اجمع الريح.
(١) superconducting magnets
(٢) supercapacitors



باختصار

لما كانت الشمسُ تغيب في الليل، والرياح لا تهب باستمرار، تبرز الحاجةُ إلى استنباط طرائق لتخزين كميات كبيرة من الطاقة لمثل هذه الأوقات بغية جعل انتشار الطاقة التي تولدها الشمس والرياح أمرا عمليا.

تَستعمل بعضُ شركات المنفعة العامة الطاقةَ الفائضة المولدة من الشمس والرياح لضخِّ المياه إلى خزانات قائمة على مرتفعات، بحيث يُستخدم سقوطُ هذه المياه لاحقا في إدارة **عنفات (توربينات)** turbines. ويمكن اعتماد هذه الطريقة في العديد من المواقع الأخرى.

ومن الحلول العملية الأخرى لتخزين الطاقة إقامة منشآت لضغط الهواء في كهوف رحيبة تحت الأرض، تسخِّن سوائلَ أو أملاحا مذابة، فتولِّد فيما بعدُ بخارا لإدارة العنفات أو لشحن بطاريات متطوِّرة. وتتطلب هذه الطرائق تحقيقَ اختراقات علمية تزيد من فاعليتها وتجعلها خليقة بأن تتنافس بالسعر مع تكاليف الكهرباء التي تنتجها المحطات التقليدية لتوليد الطاقة.

الاقتصادية لبنائها؟ وما مدى فاعلية تشغيلها؟ علما بأن ليس ثمة طريقة من طرائق التخزين تستطيع أن تردَّ دون نقصان، كميةَ الطاقة نفسَها التي وُضِعت فيها، ولكنَّ بعض المنظومات أفضل من بعضها الآخر.

ويتمثَّل أولُ حلَّيْن في تخزين الطاقة **بالضخ الكهرمائي**[1] و**بالهواء المضغوط**[2]؛ وهما حلاَّن ناضجان ومجديان اقتصاديا إلى حد ما. أما الحلول الأخرى المنافِسة، فكلّ منها يحتاج إلى نوع من التقدم في التقانة، غير أن الفائدة المرجوَّة منها قد تكون مجزية حقًّا. ويقول <I. گيوك> [خبير فيزيائي، ومدير برنامج تخزين الطاقة في وزارة الطاقة الأمريكية]: «في غضون عشر سنوات من الآن، أتوقَّع أن نرى تخزين كم كبير من الطاقة على الشبكة.»

ضخ **كهرمائي**(*)

الوثوقية وقابلية التطوُّر	4.0
الجدوى الاقتصادية	4.0
فعالية الطاقة	4.2*

إيجابيات: فاعلة، مجدية اقتصاديًّا، عالية الوثوقية

سلبيات: افتقارها إلى مواقع مناسبة

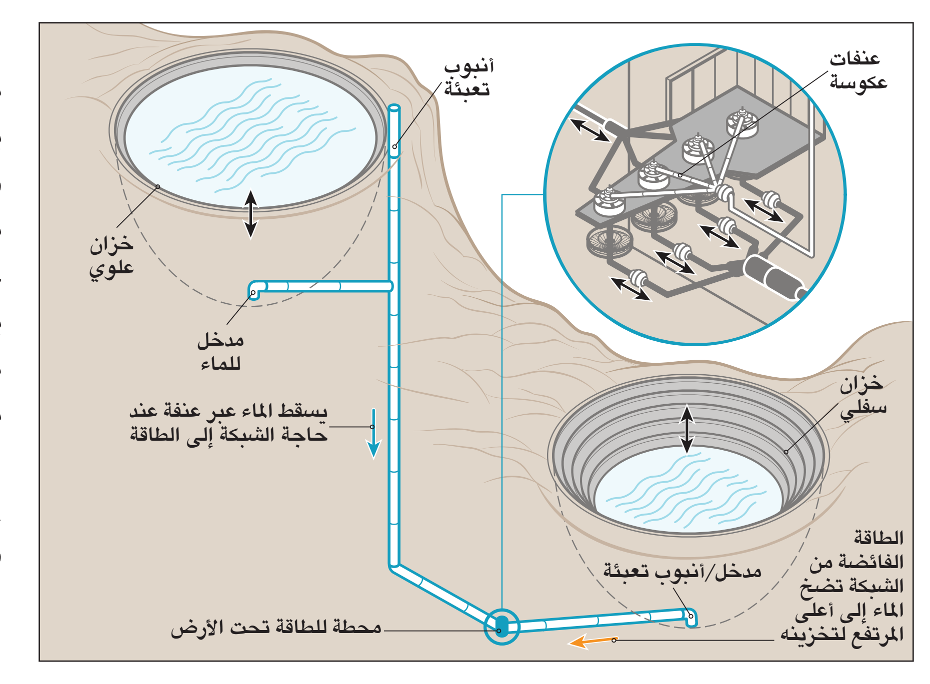
* وفقا لتقديرات لجنة الخبراء؛ الحدّ الأعلى 5

تقوم عدةُ دول بتخزين كميات كبيرة من الطاقة - زهاء 20 گيگاواط[3] في الولايات المتحدة - باستخدام طريقة الضخ الكهرمائي. وتعتمد هذه التقنية، التي مضى على استخدامها قرن من الزمن، بصورة أساسية على وجود سدّ كهرمائي يمكنه العمل على نحو معكوس؛ فتستخدم القدرةُ الكهربائية الفائضة لضخ الماء من خزان منخفض صعودا إلى خزان آخر علوي. ولدى سقوط الماء من جديد إلى الخزان السفلي يمرُّ عبر نصال **لعنفات (توربينات)** turbines تدير مولِّدا للكهرباء. وقد تصل درجةُ فاعلية هذه الطريقة بكاملها (صعودا وهبوطا) - أي الطاقة المتحصَّلة بعد طرح المفقودات - إلى 80 في المئة.

وفي الولايات المتحدة، ثمة 38 منشأة للضخ الكهرمائي تستطيع تخزين ما يزيد قليلا على 2 في المئة من طاقة التوليد الكهربائي القصوى للبلاد. وتُعَدُّ هذه النسبة صغيرة مقارنة بمثيلتها في أوروبا (حيث تقارب 5 في المئة)، أو في اليابان (نحو 10 في المئة). ولكن المؤسسة الصناعة لديها خطط لبناء خزانات قريبة من محطات توليد الطاقة، ويقول <R. ميلر> [النائب الأول للرئيس في الشركة HDR[4]] «كل ما تحتاج إليه هو تفاوت في الارتفاع وبعض الماء». ومن ثم يذكر أن هناك عددا كافيا من المشروعات قيد الدراسة حاليا لمضاعفة حدود الطاقة القصوى الراهنة.

ومن بين أكثر البرامج طموحا مشروع إيگل ماونتين لتخزين الطاقة بالضخ الكهرمائي[5] جنوبي كاليفورنيا. ويرمي هذا المشروع إلى تحويل منجم مهجور إلى خزّانين حديديين بغية تخزين الطاقة

(*) PUMPED HYDRO
(١) pumped hydro (electric storage)
(٢) compressed air
(٣) gigawatt = بليون واط: ألف مليون واط
(٤) Hennington, Durham and Richardson, Inc: شركة استشارات هندسية احترافية أمريكية تتَّخذ من أوماها (نبراسكا) مقرًا لها. أكثر مشروعاتها في مجالات الطاقة وإدارة الموارد، ومنها مشروع «تحويلة سدّ هوفر» Hoover Dam.
(٥) Eagle Mountain Pumped Storage Project



المستمَدَّة من الطواحين الهوائية والمزارع الشمسية المحلّية، وهي ما من شأنه أن يغلَّ طاقة مقدارها 1.3 گيگاواط - أي ما يعادل قدرة محطة ضخمة لتوليد الطاقة النووية. أما في ولاية مونتانا، فيُنتظر من مشروع گراسلاندز للطاقة المتجدِّدة[١]، المقترَح لتخزين الطاقة بالضخ الكهرمائي، أن يستوعب طاقةَ الرياح المستمَدَّة من السهول العظمى[٢] في بحيرة صُنعية ستقام على قمة هضبة منعزلة شديدة التحدُّر، يبلغ مسقط انحدارها 400 متر.

على أن انتشار طريقة الضخّ الكهرمائي مقيَّد في المقام الأول بالطبوغرافيا[٣]؛ إذ يتعيَّن بالضرورة غمر **الأحواض** basins المرتفعة الواسعة بالماء مما قد يؤذي **النظام البيئي** ecosystem. ولما كانت أراضي بعض المناطق، كالدانمرك وهولندا، مسطَّحة جدّا، فقد خلصت شركة كيما الهولندية Kema الاستشارية للطاقة إلى حلّ جذري للتعامل مع تلك المناطق، يتمثل في اصطناع ما يسمى «**جزيرة الطاقة**» energy island: وهي بحيرة صُنعية - تقتطع من منطقة بحرية ضحلة المياه ببناء جدار دائري حولها مأخوذ من ردم أرضي. وهنا يستخدم فائضُ الكهرباء لضخ المياه من البحيرة الصُّنعية إلى البحر المحيط بها. وعندما تكون هناك حاجة إلى الطاقة تَتَدَفَّقُ المياه من البحر عائدة إلى البحيرة، عبر أنفاق في الجدار، ومرورا بعنفات. وهنا يؤدي البحرُ المحيطُ عملَ الخزان «العلوي».

كذلك انتهت الشركة گراڤيتي پاور[٤] في مدينة سانتا بربارة بولاية كاليفورنيا إلى خيار يمكن استخدامه في أي مكان تقريبا؛ ويتمثل في حفر نفق رأسي عميق في الأرض، وتثبيت أسطوانة ثقيلة في قعره. ويُضَخُّ الماءُ من أسفل الأسطوانة فيرفعها، حتى إذا دعت الحاجة إلى استعادة الطاقة، انفتحت المرّات النفَقيَّة في القاعدة، واندفعت المياه في داخلها لتدير العنفات.

لجنة خبرائنا:

<I. كيوك>
وزارة الطاقة الأمريكية

<R. هاوز>
جامعة بول ستيت (بولاية إنديانا الأمريكية)

<H. كامات>
معهد أبحاث الطاقة الكهربائية

<D. J. C. ماكي>
جامعة كيمبريدج

<E. مونيز>
معهد ماساتشوستس للتقانة

هواء مضغوط[*]

الوثوقية وقابلية التطوُّر	4.0
الجدوى الاقتصادية	4.0
فعالية الطاقة	3.4

إيجابيات:
مجدية اقتصاديا، معتمدَة بالتجربة

....

سلبيات:
ربما تحتاج إلى حرق بعض الغاز الطبيعي

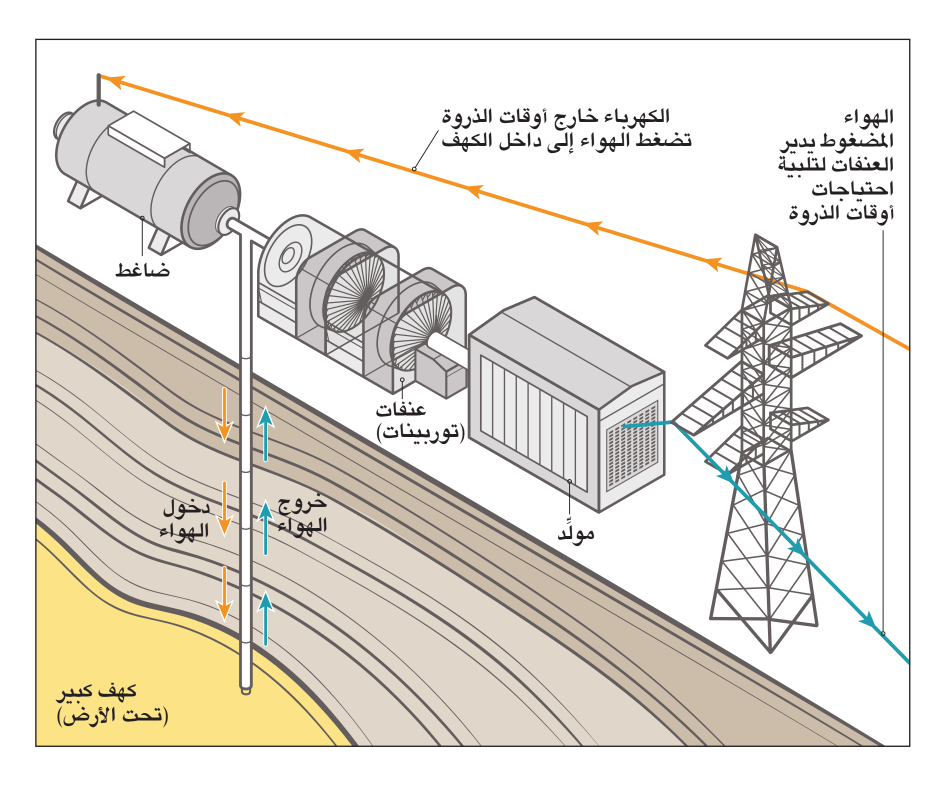
في أعماق أراضي ريف ولاية آلاباما الأمريكية، ثمة كهف كبير يبلغ حجمه نصفَ حجم مبنى الإمپاير ستيت[٥] يمثل ما قد يكون أسرع الحلول لاحتياجات تخزين الطاقة في العالم: ألا وهو الهواء. فعند أعلى السطح تَدفع مضخات كهربائية قويّة هواء مضغوطا بقوة إلى داخل الكهف عندما تتجاوز إمدادات الكهرباء الطلبَ. وعندما

(*) COMPRESSED AIR
(١) Grasslands Renewable Energy
(٢) Great Plains: سهول مرتفعة تقع في الجزء الغربي من وسط الولايات المتحدة الأمريكية والجزء الغربي من كندا شرقيَّ جبال روكي، تبلغ مساحتها 2,900,000 كيلومتر مربع.
(٣) topography: الوصف التفصيلي للسمات السطحية (التضاريسية)، الطبيعية والصُّنعية، لمنطقة ما.
(٤) Gravity Power
(٥) the Empire State Building: صرح شاهق مشهور مؤلَّف من مكاتب ومؤسسات تجارية في مدينة نيويورك أُنشئ عام 1931 وبقي لسنوات أعلى بناء في العالم، وكان هدفا لتفجيرات 2001/9/11.
(التحرير)

تتناقص قدرةُ الشبكة، يُسمَح لجزء من ذلك الهـواء المضغوط بالانفلات، ليدور عنفات. وبإمكان هذه المنشأة، التي تقع في ماكنتوش (آلاباما)، والتي تديرها الجمعيةُ التعاونية پاورساوث للطاقة[1]، أن توفِّـر قـدرة كهربائيـة تبلـغ 110 ميگاواط[2] مدة قد تصل إلى 26 ساعة. علمـا بأنها المرفـق الوحيد الذي يعمل بطريقـة الهواء المضغـوط في الولايات المتحـدة، وقـد أثبتـت نجاحَهـا على مدى عشـرين عاما. ويُذكر أن الشركة الألمانيـة المسـمّاة E.ON Kraftwerke، ومقرُّهـا مدينة هانوڤر، تتولى تشـغيل محطـة مماثلة فـي منطقة هنتورف بولاية سكسونيا.

وقد استَحدثت التعاونيةُ پاورساوث هذا الكهف الكبيـر عن طريق الإذابة البطيئـة بالمـاء لرواسـب ملحيـة متراكمـة، وهـي الطريقـة نفسـها التـي تكوَّنت بها كهـوف الاحتياطي الاسـتراتيجي لنفط الولايات المتحدة. والرواسـب الملحية متوفرة بكثرة في الجـزء الجنوبي من الولايات المتحدة، بحيـث إن معظم الولايـات الجنوبية فيهـا **أشـكال جيولوجيـة** geologic formations من نـوع أو من آخر، بما فيها الكهـوف الطبيعية وحقول الغاز المسـتنفَدة التي يُحتمـل أنها تحتوي على هواء مضغوط.

وطرحت مقترحـات تدعو إلى تنفيذ مشـروعات باستعمال الهواء المضغوط فـي عدد من الولايـات الأمريكية، ومن بينها نيويـورك وكاليفورنيا. ومع ذلك، فقد رُفِضَ مؤخرا اقتـراح تكلفته 400 مليـون دولار، تقدَّمـت به شـركة أيوا پارك للطاقة المختزَنة[3] الواقعة قريبا من مدينة دي موان، بسـبب ما كَشَفَت عنه دراسة تفصيلية أفادت أن خاصية نفاذ الهواء مـن الحجر الرملي المحيط به لم تكن مقبولة.



علـى أن أحـد العوائـق العملية لتطبيق هـذه الطريقة هو كون الهواء يسـخن عندما يُضغـط ويبرد عندما يُتـاح لـه أن يتمدد، وهـذا يعني أن بعض الطاقة التي تصرف في عملية الضغـط تضيـع باعتبارهـا حرارة مهـدورة. وإذا سُـمِحَ للهواء بمجرَّد الخروج، فقد يبـرد إلى درجة يجمِّد كلَّ مـا يكون على تمـاسّ به - ومن ضمن ذلك العنفات الصناعية المتينة. ولهذا السبب تقـوم كـلّ مـن شـركتـي PowerSouth وE.ON بحـرق الغـاز الطبيعـي لتوليد تيار من الغاز الحارّ يسخِّن الهواءَ البارد لدى تمدُّده داخل العنفـات، ومن ثـم تخفيض إجماليِّ فاعلية الطاقة وإطلاق ثنائي أكسـيد الكربون. ومن شأن ذلك أن يسهم في التقليل من فوائد بعض مزايا الطاقة الهوائية والشمسية.

ولما كانـت هذه التعقيـدات تحدُّ من فاعليـة تخزين الهواء المضغـوط، يَجْهَد المهندسـون حاليـا لابتـكار **إجـراءات مضادّة** countermeasures. وأحد الخيارات يتمثـل في عـزل الكهف بحيـث يبقى الهواءُ دافئا. ويمكن كذلك نقل الحرارة إلى خزان صُلب أو سـائل، يقوم لاحقا بإعـادة تسـخين الهواء المتمـدِّد. وقد ابتدعت شـركة صغيرة وليدة اسـمها SustainX، ومقرُّهـا مدينـة سـيبروك بولاية نيوهامبشير، طريقة تقوم على نثر قُطَيْـرات من الماء في الهواء أثناء عملية الضغط، التي تسخُن وتتجمع في بركة. ويعاد رش هذا الماءُ فيما بعدُ في الهواء المتمـدِّد فيسـخِّنه. وقـد عَرضت هذه الشركةُ آليةَ طريقتها على خزانات فوق الأرض. وحاليا تعكف الشركة General Compression فـي مدينـة نيوتن بولاية ماساتشوستس على تطوير أسلوب مماثل للتخزين تحت الأرض كما تخطط لإقامة مصنع كبيـر للعـرض demonstration plant فـي ولايـة تـكسـاس. ويقـول <D. ماركـوس> [مدير الشـركة]: «لن نكون بحاجة إلى حرق الغاز أبدا.»

(١) PowerSouth Energy Cooperative
(٢) megawatt = مليون واط.
(٣) Iowa Stored Energy Park

بطاريات متقدمة(*)

الوثوقية وقابلية التطوُّر	3.6
الجدوى الاقتصادية	2.0
فعالية الطاقة	3.8

إيجابيات: فعالة طاقيًا، موثوقة

سلبيات: ربما تحتاج إلى حرق بعض الغاز الطبيعي

يرى بعضُ الخبراء أن البطاريات قد تكون وسيلة التخزين المثالية لمصادر الطاقة المتقطعة؛ فهي سهلة الشحن، آنيَّة الفتح والإغلاق، وقابلة للرفع بنسب معينة بسهولة. وقد درجت المرافقُ العامة، على مدى عقود، على توفير طاقة دعم احتياطية للأجزاء المنعزلة من الشبكة، وذلك عن طريق تجميع نُضُد من البطاريات الجاهزة، ومن ضمنها النوع الحمضي - الرصاصي المستعمَل في السيارات. وكانت بعض الشركات قد استَعملت، على سبيل التجربة، بطاريات من الصوديوم والكبريت المذاب. ووضعت الشركةُ AES للطاقة بطاريات من الليثيوم أيون بقدرة تزيد على 30 ميگاواط في مدينة إلكينز بولاية ڤيرجينيا الغربية، وذلك لرفد عنفاتها الهوائية التي تبلغ قدرتها الإنتاجية 98 ميگاواط. ومع ذلك، إذا صارت البطارياتُ ميدانا للمنافسة في مجال التخزين الواسع النطاق، فلا بد أن ذلك سيؤدي بالضرورة إلى انخفاض كبير في تكلفتها.

ويلاحَظ أن تكلفة البطارية محكومة بالمواد المستعملة في صنعها - أي **بالمسريَيْن (القطبَيْن) الكهربائيَّين** electrodes الموجب والسالب، و**بالكهرل** electrolyte[(1)] الفاصل بينهما - إضافة إلى سيرورة تصنيعها في عبوة صغيرة. ولعلَّ إجراء تعديلات جذرية في التصميم يكون أجدى وأبعد أثرا في تخفيض التكلفة تخفيضا أكبر من إدخال تحسينات تدريجية على أنواع البطاريات المعروفة.

وحاليا يعكف <D. R. سادواي> [كيميائي في معهد ماساتشوستس للتقانة] حاليا على تطوير تصميم غير عادي أطلق عليه تسمية: بطارية المعادن السائلة. ويكمن سرُّ نجاحه المرتقَب في بساطته إذ إنه عبارة عن **راقود**[(2)] أسطواني الشكل، حرارته عالية؛ يُملأ وباستمرار بمعدنَيْن مصهورَيْن، يفصل بينهما ملح مذاب، بحيث يكون المعدنان المنصهران من نوعين غير قابلَيْن للامتزاج بالملح - «كما في حالة الزيت والخل»، حسبما يقول <سادواي> - فضلا عن كونهما مختلفَي الكثافة بحيث يرقد أحدهما تلقائيّا فوق الآخر. ولدى وصل المعدنين أحدهما بالآخر بوساطة دارة خارجية، يسري تيار كهربائي، فتنصهر **أيونات (شوارد)** ions كلّ من المعدنين في الملح المذاب، مسبِّبة حدوث سماكة في قوام تلك الطبقة. ولإعادة شحن البطارية، يقوم التيارُ الكهربائي الفائض عن الشبكة بإجراء العملية بشكل معكوس؛ فيعيد الشواردَ المنصهرة قسرا إلى طبقتها الخاصة بها.

وقد تمكَّن <سادواي> حتى الآن من أن يصنع في المختبر بطاريات بحجم «علبة فطيرة بيتزا»، ولكنه يعتقد بإمكان تعديل التصميم أكثر فأكثر على نحو اقتصاديّ توفيري، ربما ليصبح أرخص حتى من الضخِّ المائي الذي يكلِّف 100 دولار لكل كيلوواط - ساعة. ولن يدري <سادواي> على وجه اليقين ما هي المشكلات التي يمكن أن تنشأ عن عملية التعديل إلى أن يختبرها عمليّا، بيد أنه يشعر بالحماس لأن بطارياته خلافا للبطاريات التقليدية التي تتطلب جهدا كبيرا وتكلفة عالية في تصنيعها، يمكن صنعها بالجملة بمجرّد صبِّ المواد في حوض.

ومن التصاميم المجربة والأكثر وثوقية **بطارية التدفق** flow battery، وهي عبارة عن غشاء صلب داخل وعاء يفصل بين مسريَيْن سائلَيْن قابلَيْن لتخزين كمية كبيرة من الطاقة. وهذا النوع من البطاريات يشبه في جوهره تقانة أكثر حداثة تسمى «خام كيمبريدج» Cambridge crude، تستخدم جُسَيْمات نانوية كمسارات معلَّقة في سائل [انظر: «وقود سائل من أجل السيارات الكهربائية»؛ أفكار تغيِّر العالَم، **العلوم**، العددان 4/3(2012)، ص 12].

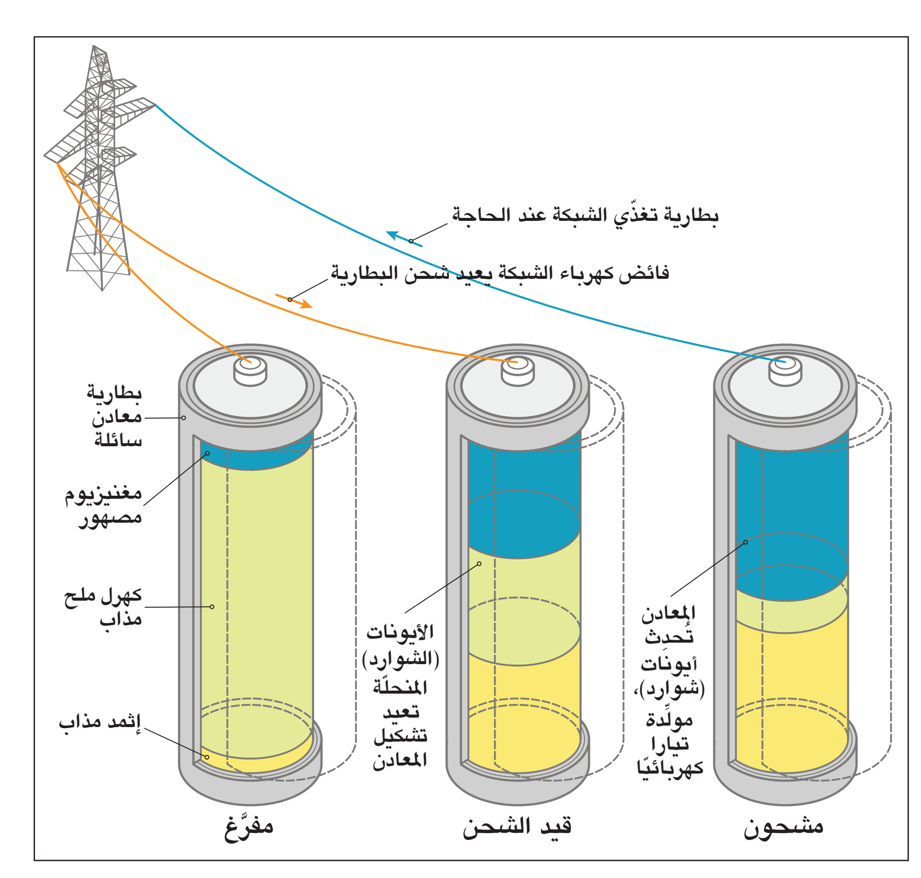
ولبطارية التدفق مزايا عديدة، منها أنها تعمل في **درجة حرارة الغرفة**[(3)]، خلافا لبطارية المعادن السائلة التي يتعيَّن تسخينُها. ولزيادة قدرتها يكفي تكبير قياس المساري أو إضافة مزيد من الأوعية. وقد سبق أن قامت شركة صغيرة (توقَّفت حاليّا)، اسمها Power

(*) ADVANCED BATTERIES

(1) موصِّل كهربائي غير فلزّي، يكون فيه تدفُّق التيار مصحوبا بحركة الأيونات (الشوارد).

(2) الراقود(VAT): هو وعاء ضخم للسوائل يستخدم للتكرير أو التخمير أو الصباغة أو الدباغة.

(3) room temperature: 20 درجة مئوية في الولايات المتحدة، و15.5 درجة مئوية في إنكلترا. (التحرير)



VRB Systems، بإنشاء بطاريَّتَيْ تدفُّق تعتمد المحاليلُ المستعملةُ فيهما على معدن الڤاناديوم؛ رَكِّبت إحداهما في مواب بولاية يوتا الأمريكية، والأخرى في جزيرة أسترالية صغيرة، وذلك قبل أن تبيع تقانتَها للشركة Prudent Energy، التي تتَّخذ من بيثيزدا (ميريلاند) مقرّا لها. وتسعى شركات أخرى إلى إدخال تحسينات على الفكرة عن طريق رفع فاعلية تدفُّق الأيونات (الشوارد) عبر الغشاء.

يقول <M.> بيري [مهندس كيميائي يعمل لدى شركة التقانات المتحدة[١] في هارتفورد بولاية كونيكتيكت] إن شركته تستثمر ملايين الدولارات في هذا المسعى، وتتوقع أن تنافس بطارياتُ التدفُّق، في غضون خمس سنوات أو نحو ذلك، المحطات التي تستخدم الغاز المحترق للتسخين من أجل تلبية متطلبات الذروة في المرافق العامة. وتركِّز الشركةُ UTC على عنصر الڤاناديوم أيضا لوفرته ورخص ثمنه كمنتَج ثانوي من عملية استخراج البترول. وحاليا تقوم الشركة Energizer Resources في تورونتو (كندا) بتطوير منجم ضخم للڤاناديوم في مدغشقر، من أجل تزويدها بهذا المعدن.

تخزين حراري(*)

الوثوقية وقابلية التطوُّر	3.6
الجدوى الاقتصادية	3.6
فعالية الطاقة	3.0

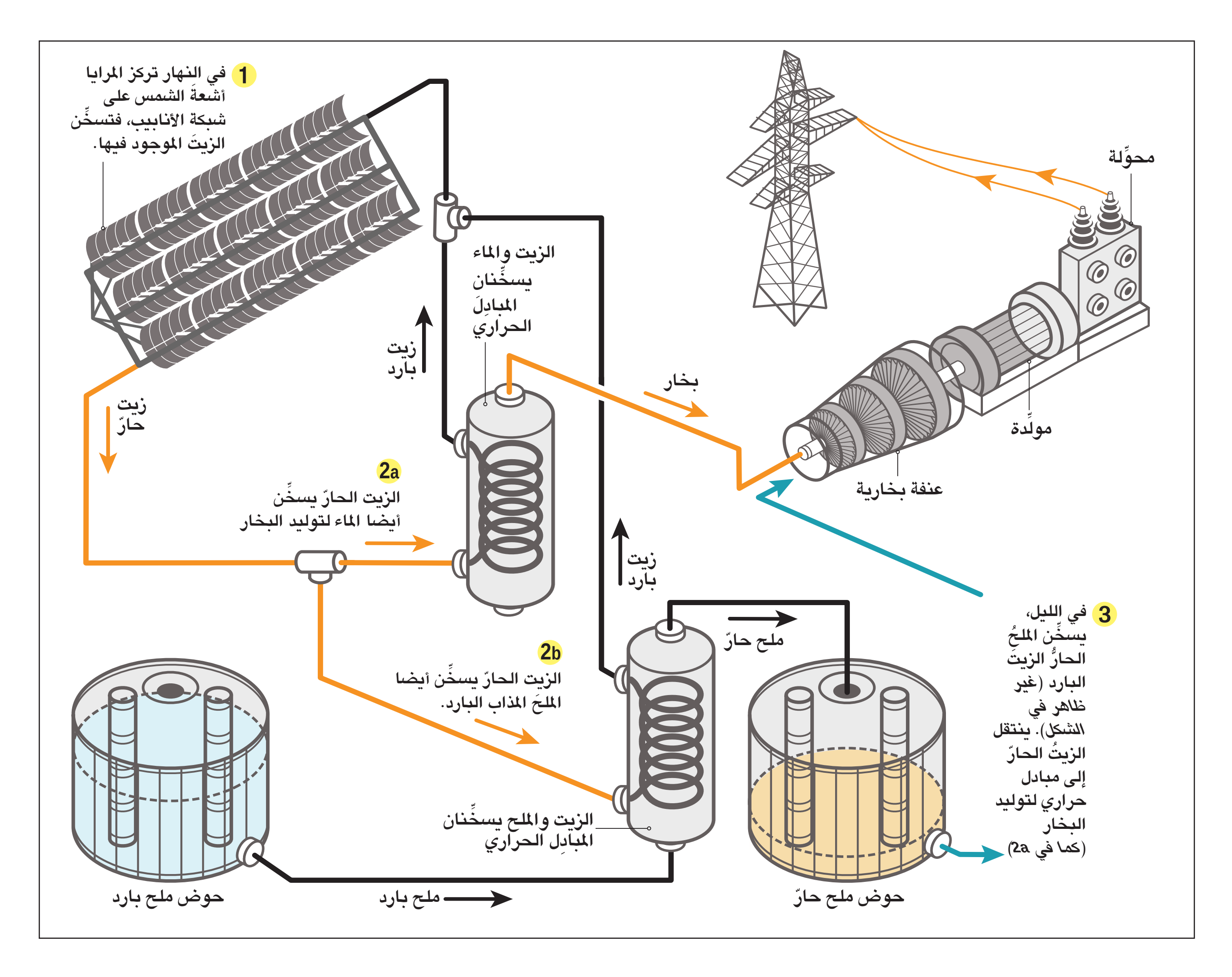
إيجابيات: يمكن تركيبها في أي موقع

سلبيات: غلاء تكلفتها، وصعوبة احتفاظها بالطاقة مددا طويلة

وفي المناطق التي يستمر فيها سطوع الشمس فترات طويلة، تكون محطاتُ توليد الطاقة من أشعة الشمس المركَّزة طريقة اقتصادية لتوليد الطاقة وتخزينها. وهنا تقوم صفوف من المرايا المرتبة على شكل قطوع مكافئة بتركيز أشعة الشمس على شبكة أنابيب طويلة تمتد موازية لها، فتسخِّن سائلا – من قبيل زيت معدني – داخل هذه الأنابيب. وينتقل هذا الزيتُ إلى مبنى يتحوَّل فيه الماءُ – بفعل حرارة هذا الزيت – إلى بخار يدير عنفة توليد الكهرباء. فإذا ما غربت الشمس، أمكنَ خزنُ الزيت الساخن ضمن أحواض لتوليد مزيد من البخار عدة ساعات على الأقل، إلى أن يبرد تدريجيّا وببطء.

ومن الجدير بالذكر أن عددا من محطات الطاقة الشمسية المركَّزة يعمل في الولايات المتحدة وأوروبا. وعلى كلٍّ ومن أجل الاحتفاظ بالطاقة الحرارية أطول مدة ممكنة، قامت محطة أرخميدس للطاقة الشمسية[٢] في إيطاليا ببناء وحدة عرض، قرب مدينة سيراقوسة في جزيرة صقلية، تَستعمل الملحَ المذاب بدلا من الزيوت؛ إذ يمكن تسخين الملح المذاب إلى نحو

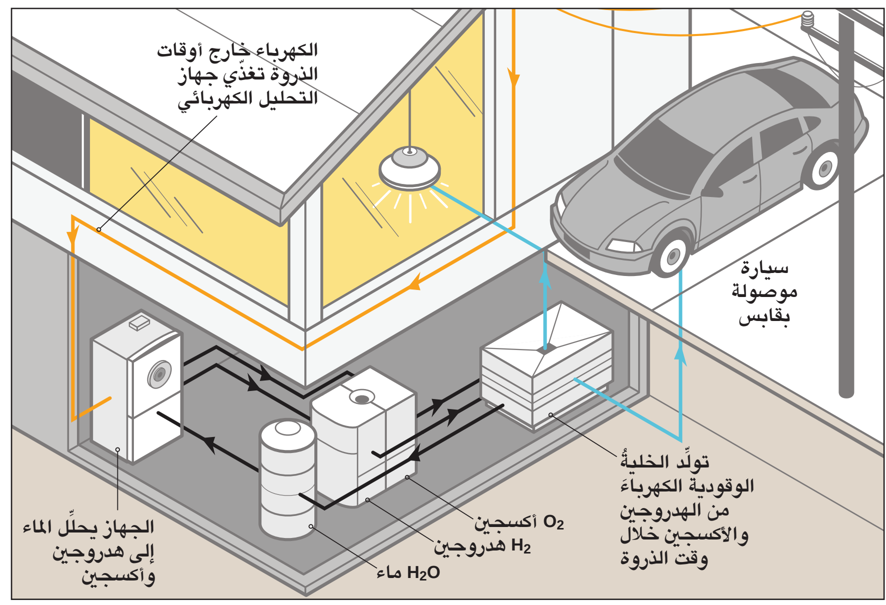
(*) THERMAL STORAGE
(١) United Technologies Corporation (UTC)
(٢) Archimede Solar Energy



550 درجة مئوية، مقارنة بـ400 درجة مئوية للزيت، مما يؤدي إلى توليد مزيد من البخار خلال ساعات إضافية بعد غروب الشمس، كما يقول ‹P. مارتيني› [مدير محطة أرخميدس لشؤون تطوير الأعمال والمبيعات]. ويقول ‹مارتيني› أيضا إن خمسة أمتار مكعبة من الملح المذاب يمكنها تخزين 1 ميگاواط-ساعة من الطاقة، مقارنة بـ12 مترا مكعبا من الزيت. أما المحطة Solar Millennium في ألمانيا، فتشغِّل المنظومة الضخمة للزيوت المذابة المسمَّاة Andasol 1 في الأندلس بإسبانيا منذ عام 2008. وفي الشهر 2011/5، أحرزت هذه المحطة قصب السبق في توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية 24 ساعة متواصلة في اليوم.

وتبلغ تكلفة الطاقة المستمَدَّة من محطات توليد الطاقة الشمسية المركزة اليوم ضعفَيْ تلك المستمَدَّة من محطة للغاز الطبيعي. ومع ذلك فإن خطة طريق صناعية تتنبأ بأن الطاقة الشمسية المركَّزة ستغدو منافسة للغاز الطبيعي في غضون عشر سنوات إذا ما تم إجراء تعديل على تصاميم المحطات (وهذا يشمل كيمياء الموائع) وإدخال اقتصادات القياس النسبي. ويبدو أن أوفر المحطات حظًا في النجاح هي تلك التي تقام في مواقع تندر فيها الغيوم، كالصحراء الكبرى.

وبطبيعة الحال، يمكن استعمالُ الطاقة الفائضة المتولِّدة من طواحين الهواء أو غيرها من المصادر لتسخين السوائل التي من شأنها توليد الطاقة في وقت لاحق. وبإمكان التخزين الحراري أن يشمل التبريد أيضا بدلا من التسخين؛ فالشركة Ice Energy مثلا، ومقرُّها مدينة ويندسور بولاية كولورادو، تبيع منظومات تُنتِج الجليد خلال ساعات الليل، عندما تكون الطاقة وافرة. أما في النهار فيذوب الجليدُ ليغذّي سائل التبريد في منظومات التدفئة والتبريد بغرض تكييف الهواء. وقد بدأ بعضُ أرباب المرافق التجارية، مثل المتاجر الكبرى، بتركيب مثل هذه الوحدات وبذلك يخفِّفون من وطأة تزايد الضغط على الشبكة طلبا للطاقة المستخدمة في تكييف الهواء خلال أشدِّ ساعات النهار حرارة.



هدروجين منزلي[*]

الوثوقية وقابلية التطوّر	2.2
الجدوى الاقتصادية	1.0
فعالية الطاقة	1.4

إيجابيات: فعّال، خفيف الوزن

سلبيات: ما زال بحاجة إلى تطويرات جذرية في المواد الأساسية

أحـد الرهانـات القليلـة الحظ في النجاح ولكن مكاسبها المحتملة عظيمة في مجال تخزين الطاقة سـوف تعتمد على أصحاب البيوت بـدلا من المرافق الخِدميـة. فعلى مدى أكثر مـن قرنَيْن من الزمـن والعلماءُ يحلِّلـون الماءَ إلى عنصريـه: الهدروجـين والأكسـجين بإمرار تيار كهربائـيّ فيه. ومن الممكن استهلاك الهدروجين فيما بعدُ في **خلية وقودية (تعمل بالوقود)** fuel cell لتوليد الكهرباء. ويتمثل التحـدّي الراهن في إمكان تحليـل الماء و«حرق» الهدروجين على نحو فعال، من دون إنتاج كثير من الحرارة التي تذهب هدرا.

وقد تكون فاعليةُ انشطار الهدروجين أعلى بكثير لو كان بالإمكان استعمال ضوء الشـمس مباشرة، بدلا من أخذ الطاقة الكهربائية من الشبكة، أي كما تستعمل النباتاتُ الشمسَ في **الإماهة (الحلمهة)**[1] أثنـاء عمليـة التركيب الضوئي. ومنذ سـنوات تتوفَّر خلايا «إماهية» صُنعية تؤدي الوظيفةَ نفسَها، ولكنها غير فعّالة ومكلفة ماديا. ويعكف كيميائيـون، من أمثال <D. نوسـيرا> [مـن معهـد ماساتشـوتس للتقانة] و<N. S. لويس> [من معهـد كاليفورنيا للتقانة] علـى تطوير موادَّ جديدة ذات أداء أفضل – وهي **وسـائط حفّازة**[2] أساسُـها عنصر الكوبالت (في حالة <نوسـيرا>)، والقضبان النانوية (في حالـة <لويـس>) – ولكـن التكاليف المترتبة على ذلك تبقى باهظة جدّا.

وسواء استخدمت الكهرباء أو الشمس مباشرة، فإن العوائق تبقى كبيرة أيضا لجهة إعادة التحويل؛ فالخلايا الوقودية تحرق الهدروجين بصـورة فعالة، لكنها تعتمد على مـوادَّ حفّـازة باهظة الثمن كالپلاتين. فالوحدة التي تستطيع تزويد سيارة بالطاقة أو إنارة مبنى ربما تكلف عشـرات آلاف الدولارات. ومن ثم، فإن العلماء يسـعون إلى إيجاد موادَّ بديلة، علما بـأن تخزيـن الهدروجين يضيف صعوبة أخرى ناشـئة عـن قابلية الغاز للانفجار، وضرورة تمييعه أو ضغطه.

فـإذا أمكـنَ تذليـلُ جميـع هـذه الصعوبات، تيسَّـرَ لمالكي البيوت اقتناء محطات صغيرة خاصة بهم لتوليد الطاقة الهدروجينية في مبانيهم. وعندما يتوفَّر للمرفق المحليِّ فائض من طاقة الرياح أو الشمس، يستطيع مالكو البيوت استعماله لشطر الهدروجين، الذي سيغذّي المبنى في وقت لاحـق عندما تكون الشـمسُ محتجبـة أو الريـحُ سـاكنة. ولما كانت كثافةُ الطاقة فـي الهدروجين أكبر منها في الگازولين (البنزين)، فربما تُستعمل يوما ما في تسيير المركبات والشاحنات كذلك، وصولا إلى اقتصاد طال انتظاره، يعتمد على الهدروجين. ■

(*) HOME HYDROGEN

(۱) hydrolysis: تفكيك مادة باستعمال الأثر الكيميائي للماء.

(۲) catalysts: مواد تسرِّع التفاعل الكيميائي من غير أن تتأثر به. (التحرير)

مراجع للاستزادة

Sustainable Energy–Without the Hot Air. David J. C. MacKay. UIT Cambridge, 2009.

The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. Paul Denholm et al. National Renewable Energy Laboratory, January 2010.

Integrating Renewable Electricity on the Grid. American Physical Society Panel on Public Affairs. American Physical Society, November 2010.

Scientific American, March 2012

طب الغد(*)

نظرة على **الجهائز**(١) الطبية الواعدة، والتي هي قيد التطوير حاليا.

خلال السنوات القليلة الماضية، استفاد الباحثون من تقدم لم يسبق له مثيل في مجال البيولوجيا والإلكترونيات و**الوراثيات** genetics البشرية من أجل تطوير عدد مثير للإعجاب من **عتيدة**(٢) أدوات جديدة لتحسين صحة البشر، وتعزيزها. والآن أصبحت التقنيات الطبية المعقدة وتحليل البيانات على وشك الإفلات من حدودها التقليدية داخل المستشفيات والمختبرات الحاسوبية وتشق طريقها إلى حياتنا اليومية.

وسيكون بإمكان أطباء المستقبل استخدام هذه الأدوات لمراقبة المرضى والتنبؤ بكيفية استجابتهم لبعض الخطط العلاجية الخاصة استنادا إلى الخصائص الفريدة في فيزيولوجيا أجسامهم، وذلك بدلا من اعتمادهم على المعدل الوسطي لاستجابة مجموعة كبيرة من المرضى في التجارب السريرية. كما أن التقدم الحاصل في مجال تصغير **الشيبات** chips الحاسوبية والهندسة البيولوجية وعلوم المواد أرسى الأساس للحصول على جهائز جديدة يمكنها أن تحل محل الأعضاء المعقدة مثل العين والبنكرياس أو مساعدتها على أداء وظائفها بشكل أفضل.

وتقدم المقالات المعروضة في الصفحات التالية لمحة عن أهم التطورات الواعدة في التقنيات المعدلة في مجال الوراثيات والإبصار الاصطناعي والسرطان و**المرقابات** monitors الطبية القابلة للغرس والأمراض النفسية. وبالطبع لن تنجح جميع هذه التطورات إلا أنها توحي بمجملها أن التقنيات الطبية المدمجة ستؤدي دورا يتزايد باستمرار لن يقتصر على معالجة المرضى بل يمتد إلى حماية الأصحاء. (المحررون)

(*) TOMORROW'S MEDICINE
(١) devices أو نبائط (ج: نبيطة)
(٢) kit

وراثيات[١]

طب تفريدي[*]

تواصل تكاليف سَلْسَلة الجينوم البشري انخفاضها إلا أن التفسير المنطقي للنتائج مازال تحديا.

عندما أُطلق مشروع **الجينوم البشري** Human Genome قبل عشرين عاما كان من المتوقع أن تتطلب محاولة طباعة كتاب التعليمات اللازمة لبناء كائن بشري مئات من آلات السَّلسَلة، وأن تبلغ تكاليف ذلك ثلاثة بلايين دولار وتستغرق 15 عاما. وبعد مضي ثلاثة عشر عاما، أي في عام 2003، أُعلن عن سَلسَلة كاملة للجينوم البشري، ولكن هذا الإنجاز الهائل مازال قيد التطوير، إذ ما زالت هناك فجوات في خريطة **المادة الوراثية**[٢] التي تحدد المصير الجيني للشخص وما زالت تلك الفجوات بحاجة إلى أن تُملأ.

لننتقل بسرعة إلى المعرض الدولي للإلكترونيات الاستهلاكية في «لاس فيگاس» في الشهر 2012/1. فبين خزائن الألعاب والتلفازات ذات الشاشات المسطحة تقف آلة سلسلة الجينوم، وهي علبة صقيلة بيضاء اللون بحجم طابعة مكتبية، يقول مبتكروها إنها، عندما تتوافر في الأسواق أواخر هذا العام (2012)، ستتيح السلسلة الجينية الكاملة للشخص خلال بضع ساعات لقاء ألف دولار أمريكي، وهو ما يعادل ثمن شاشة تلفازية بلازمية عالية الجودة.

وعلى مدى سنوات اعتبر مبلغ ألف دولار أمريكي الحد الأعلى الفاصل لتكلفة سَلسَلة الجينوم الذي يؤذن بولادة عهد جديد من الطب التفريدي. فعند هذا الحد من الأسعار يفترض أن تكون **قراءات** readouts المادة الوراثية رخيصة لدرجة تكفي كي يستخدمها الأطباء العاديون في عملهم لمعالجة المرضى المصابين بأمراض القلب والسرطان وغيرها من العلل مستندين إلى الأخطاء الجينية التي يواجهها كل فرد على حدة وإلى حالات التحسس للأدوية لديه. ومع تزايد فرص توافر آلات سلسلة الجينات، مثل تلك التي عرضت في المعرض، يقول مراقبو الصناعات إن فجر عهد جديد من الاختبارات الجينية الشاملة للإنسان قد أشرق.

ولكن البعض يقول إن نشر هذه التقانة على نطاق واسع أمر سابق لأوانه. فيقول <T. فاراتي> [أستاذ الوراثيات في كلية الطب بجامعة جون هوپكنز]: إن هذه التقنية غير جاهزة، ويساوره القلق من أن المنافع المحتملة للطب الجينومي التفريدي قد نالت قسطا مبالغا فيه من الترويج. ويتابع قائلا: إن **التفرس (التحري) الجيني** genetic scan الكامل سواء ما كان من قبل طبيب أو ما كان يُشترى عبر الإنترنت يكاد يكون عديم الفائدة الآن كأداة طبية.

وتتمثل المشكلة الرئيسية في أن التقانة تسير بسرعة أكبر من قدرة الباحثين على فهم النتائج التي تتمخض عنها. والمثال على ذلك أنه لكي يفهم الأطباء أي **قراءة جينية** genetic readout تعد مؤشرا مهما على المرض وأي القراءات يمكن تجاهلها بأمان ينبغي مقارنة كل قراءة جينية لأحد الأشخاص بعدد ضخم من القراءات لدى أشخاص آخرين. وإضافة إلى ذلك فإن عددا كبيرا من الأمراض ينجم عن طفرات نادرة الحدوث لم يتم تعرفها حتى الآن. وأخيرا فإن مهمة فرز الكمية الكبيرة عن البيانات الناتجة من **تفريسة** scan الجينوم هي مهمة مضنية. ويقول <أشلي> [أستاذ أمراض القلب المساعد في كلية الطب بجامعة ستانفورد]: «إن إنتاج السلسلة ما هو إلا الخطوة الأولى القليلة التكاليف»، ويضيف قائلا: «ولكن ماذا عن تحليل النتائج؟ ومن العجب أن ذلك لن يكون سريعا ولن يكون قليل التكاليف.»

ولتوضيح مدى التعقيد الذي تتسم به العملية أجرى <أشلي> وعدد قليل من الباحثين في جامعة ستانفورد وجامعة هارفرد تحليلا لجينوم زميلهم <كويك> [أستاذ الهندسة البيولوجية]، وقد أمضوا ستة أشهر في تعرّف كيفية إجرائه، مع أن <كويك> كان قد أجرى سَلسَلة جينومية بنفسه، ومن هنا كانت البيانات الخام التي يحتاجون إليها متاحة لهم.

وقد تضمنت السوابق العائلية لدى <كويك> أمثلة متعددة من أمراض القلب. ومن المؤكد أن الفريق وجد لدى <كويك> «ضروبا جينية» متعددة لها علاقة بزيادة الاستعداد للإصابة بالنوبات القلبية. إلا أن التحليل الجيني أظهر عددا من المفاجآت، ومنها زيادة احتمال وجود مرض دموي وراثي يدعى داء **التصبغ الدموي** (داء **ترسب الأصبغة الدموية**) hemochromatosis مع أنه لا يوجد أحد من أسرة <كويك> يعاني هذا المرض. وفي هذه الحالة يتعذر القول ما إذا كانت النتائج غير المتوقعة تلك تعكس خطرا حقيقيا أم إنها مجرد نوع من الخطأ في عملية السَّلْسَلة، وهو المكافئ الجيني لخطأ في الطباعة.

وعلى الرغم من هذه الأخطاء المؤسفة، فإن <أشلي> متفائل

(*) PERSONALIZED MEDICINE: يقصد بذلك الطب الذي يراعي الفروق الفردية بين المرض ليلائم حالة كل مريض على حدة.

(١) genetics

(٢) hereditary material

(التحرير)

في أن قراءات **الدنا** DNA الخاصة بكل إنسان ستغير تماما حقل الرعاية الطبية، ويتوقع قدوم اليوم الذي يشكل فيه جينوم الشخص جزءا اعتياديا من سجله الطبي الإلكتروني. ومع ذلك، فإن العدد القليل من المرضى الذين استفادوا بشكل كبير من تحليل أجزاء ضخمة من جينوماتهم كانت لديهم أمراض نادرة ذات ضروب جينية غير مألوفة لدرجة تكفي لإظهارها بوضوح، وبالنسبة إلى بقية الناس فإن جينوماتهم تنتظر لتروي القصة التي لم تُروَ بعد.

إبصار اصطناعي[(١)]

عين بيونية[(*)]

ستعيد المستقبلات الضوئية التصنيعية الرؤية للعميان.

يعرف ‹M. تيرهو› الفرق بين التفاحة والموزة وباستطاعته إخبارك بأن إحداها كروية وحلوة وتقرش عند قضم جزء منها، وأن الثانية طويلة ومنحنية وتنهرس عند تركها فترة طويلة تكفي لفرط نضجها. ولكنك إذا طلبت إليه أن يميز بين ثمرة وأخرى من دون أن يلمس أو يشم أو يتذوق أيا منهما، فإنه لن يستطيع ذلك. إن ‹تيرهو› أعمى تماما إلا أنه استعاد قدرته على التمييز بين التفاحة والموزة عن طريق الإبصار لمدة ثلاثة أشهر عام 2008، بفضل **شيبة** chip إلكترونية ضئيلة الحجم غرسها الباحثون في عينه اليسرى. وعلى الرغم من قصر مدة النجاح الأولى للتقانة الجديدة، فقد غيّر باستمرار التوقعات من أجل ‹تيرهو› والكثيرين من أمثاله.

يعمل ‹تيرهو› في منظمة للبعثات الدراسية الرياضية بفنلنده، وهو مصاب بالتهاب الشبكية الصباغي، وهذا مرض جيني يتلف الخلايا الحساسة للضوء التي تبطن الشبكية في القسم الخلفي من العين. وقد كان ‹تيرهو› يتمتع برؤية جيدة حتى بلوغه سن 16 عاما عندما بدأت الرؤية لديه بالتدهور، وفي العشرينات من عمره تدهورت أيضا قدرته على الرؤية في ضوء النهار. وعندما بلغ سن 35 عاما فقد ‹تيرهو› الرؤية المركزية في كلتا عينيه، وعندما بلغ 40 سنة من العمر لم يعد يدرك سوى أثر من الضوء في محيط الرؤية لديه.

ومن ثم تغير كل شيء في الشهر 2008/11، عندما غرس ‹زرنير› [الذي يعمل في جامعة توبنگن بألمانيا] الشيبة في شبكية عين ‹تيرهو›، فقد حلت الشيبة محل المستقبلات الضوئية التالفة (والتي يطلق عليها اسم العِصِيّ والمخاريط) في الشبكية. وفي الشبكية السليمة تحوِّل المستقبلات الضوئية الضوء إلى **دفعات** impulses عصبية تصل في نهاية المطاف إلى الدماغ بعد مسيرها عبر طبقات متعددة من النسج المتخصصة. ويتكون أحد هذه النسج من خلايا يطلق عليها اسم **الخلايا الثنائية القطب**[(٢)]. وتتألف كل شيبة من 1500 مربع مرتبة ضمن شبكة منتظمة تقيس 0.12 بوصة طولا و 0.12 بوصة عرضا، ويتضمن كل مربع من تلك المربعات واحدا من **الصمامات الثنائية الضوئية** photodiodes و**مضخما** amplifier و**قطبا كهربائيا** electrode. وما أن يشع الضوء على أحد الصمامات الضوئية حتى يولد تيارا كهربائيا ضئيلا يتقوى بتأثير المضخم المجاور ويتوجه إلى القطب الكهربائي الذي ينبه بدوره الخلية الثنائية القطب الأقرب إليه، مرسلا في نهاية المطاف إشارة عبر العصب البصري إلى الدماغ. وكلما ازدادت كمية الضوء على الصمام الثنائي الضوئي ازدادت قوة التيار الكهربائي الناتج.

لقد فتحت **الغرسة** implant التي غرست في عين ‹تيرهو› نافذة له على العالم، وتبلغ أبعاد هذه النافذة مساحة مربع من الورق تقيس أضلاعه 8 بوصات وموضوع على مسافة ذراع. ومن خلال تلك النافذة، تمكن ‹تيرهو› من تعرف الأشكال الرئيسية للناس والأشياء ولاسيما عند وجود تباين قوي بين الألوان الفاتحة والداكنة، إذ إن الشيبة لم تكن تتضمن من الأقطاب الكهربائية ما يكفي لإنتاج صور واضحة الحدود. إضافة إلى ذلك، سمحت له الشيبة بإدراك ظلال رمادية فقط بدلا من إدراك الألوان، لأنه لم يكن بإمكانها تمييز أطوال موجات ضوئية مختلفة.

وعلى الرغم من جوانب القصور هذه فقد غيّرت هذه الغرسة تغييرا حاسما كيفية تفاعل ‹تيرهو› مع العالم خلال أيام من إجراء الجراحة له، فللمرة الأولى خلال عقد من الزمن صار بمقدوره رؤية الأشياء وتسميتها مثل الأواني الفضية والفواكه وقراءة الرسائل المكتوبة بأحرف كبيرة القياس، والاقتراب من الناس في الغرفة وتعرّف من يحب منهم. كما صار بمقدور مريضين آخرين، زرعت لهما تلك الغرسات في

(*) BIONIC EYE = عين إلكترونية، وكلمة Bionic هي صفة للجسم أو العضو الذي يحتوي على جهيزة إلكترونية تجعله قادرا على العمل.

(١) ARTIFICIAL SIGHT

(٢) biopolar cells

(التحرير)

وقت قريب من ذلك التاريخ، تعرّف مواضع الأشياء الوضاءة إذا وُضعت أمام خلفية داكنة اللون.

وقد اضطر ‹زرنير› إلى إزالة الشيبة بعد مضي ثلاثة أشهر، لأن تصميمها تـرك المريض معرضا **للأخمـاج**[1] الجلدية: فقد كانت هناك بطارية خارجية بحجم الجيب توفر الطاقة للمضخات عبر شـريط صغير يخترق الجلد تاركا جرحا مفتوحا. إضافة إلـى ذلك، كان ينبغـي على المرضى أن يبقـوا قريبين من أحد الحواسـيب الذي يضبط لاسـلكيا تواتر الدفعات الإلكترونية، وغير ذلك من مظاهر الرؤية مثل الوضاءة والتباين.

ومنـذ عـام 2008 زاد ‹زرنير› الأمان الـذي تتمتع به الغرسـة ومن قابليتها للحمل. أما النمـوذج الأخير الذي زُرع في عشرة أشخاص فهو لاسلكي؛ فتحت الجلد يوجد سـلك نحيل ينطلق من **وشـيعة**[2] كهرطيسـية تقع خلف الأذن على مسـافة قصيرة من الشيبة المزروعة في القسم الخلفي من العين، كما أن وضع وشـيعة كهرطيسية أخرى في صندوق بلاستيكي صغير على سطح الجلد قرب الأذن سـوف يكمل الدارة الكهربائية التي توفر الطاقة للغرسة. ويمكن للمرضى أن يعدلوا شدة الوضاءة والتباين بالتعامل مع الأزرار على الوشيعة الخارجية. وللوصول إلى تحسين أكثـر لهذه التقانة، يرغب ‹زرنير› في زرع ثلاث شـيبات متجـاورة في شـبكية واحدة بحيث يصبـح لدى المريض مساحة واسعة للرؤية.

ومع أنه يجب على المستقبِلات الضوئية الصنعية أن تثبت أنها مفيدة في أي شكل من أشكال العمى الذي ينجم عن تلف المستقبلات الضوئية (ونعني بها **التهاب الشبكية الصباغي** retinitis pigmentosa و**تنكس المشيمية** choroideremia وبعض أنواع تنكـس البقعة مثل **الضمـور الجغرافـي** geographic atrophy)، فإنهـا لا تفيـد في مسـاعدة المصابـين **بالزرق** glaucoma ولا في الحالات التي تؤدي إلى **تَدرك** degradation العصب البصري.

وقد حقق فريق آخر نجاحا يرقى إلى المسـتوى ذاته من النجاح الذي حققه ‹زرنير› في الدراسـات السـريرية. فقد طورت الشـركة Second Sight[3] في كاليفورنيا غرسة شبكية، سَـمَّتها Argus II، تسـتخدم أيضا لمعالجة التهاب الشبكية الصباغي، ولكن بأسـلوب مختلف. وتلتقط الغرسة Argus II الصور من العالم الخارجي بواسـطة آلـة تصوير (كاميرا) ضئيلـة الحجم تثبت على النظارات ثم تُحوّل تلك الصور إلى **دفعـات** impulses كهربائية وتنقلها إلى قطب كهربائي يستقر على سطح الشبكية بدلا من أن يكون مغروسا ضمنها. وهكذا فإن الغرسة Argus II لا تعمل على شاكلة غرسة ‹زرنير›، فهي لا تحاكي التنبيه السوي للشبكية بواسطة الموجات الضوئية، ولكنهـا تنتج بدلا من ذلك بقعا مـن النقاط الوضاءة والداكنة التي ينبغي على المريض أن يتعلم كيف يفسرها.

إن اسـتعادة الرؤيـة مرتفعة التكاليف حتـى في المجال الرمادي. ففي الوقت الراهن، يكلف تركيب الغرسـة Argus II مئة ألـف دولار لكل عين وذلك حالما يتـم اختبارها والموافقة على اسـتعمالها، أما ثمن غرسة ‹زرنير› فمن المرجح ألا يقل عن ذلك. كما ينبغي على ‹زرنير› أن يجري دراسات سريرية إضافيـة قبل أن تسـمح له المجالس الاستشـارية الأوروبية بتدريب جراحين آخرين على هذه العملية. وقد نالت الغرسـة Argus II الموافقة علـى بيعها في جميع أوروبا ولكنها لم تنل ذلك في الولايات المتحدة، ويشـير نجاح الدراسات السريرية الأولى وسـرعة تحسـين التقانة إلى أن غرسات الشبكية قد تتوافر على نطاق واسع خلال سنوات معدودة.

كشف مبكر

الاتجاه نحو الهدف في السرطان(*)

يُطور المهندسون البيولوجيون جسيمات نانوية ضئيلة الحجم مبرمجة لكشف السرطان في أبكر مراحله.

يمكن للجسيمات الفائقة الصغر أن تعالج بعضا من أكثر المشـكلات الطبية صعوبة، فما يدعى **الجسـيمات النانوية** nanoparticles التـي تقاس أبعادها بالنانومتر (وهو واحد من البليون من المتر) هي جسـيمات بالغـة الصغر بحيث يمكن لـ500 منها أن تُرصف على المقطع العرضي لشـعرة إنسان. ويهندس العلماء تلك الجسـيمات النانوية لعمل كل شيء من توصيل الأدوية ضمن أجزاء معينة من الجسم، إلى الحصول على صـور أكثر تفصيـلا للأعضاء الداخليـة. وفي الوقت الحاضر يعدّل الباحثون الجسيمات النانوية بغية استخدامها في كشف الخلايا السرطانية أينما كانت مختبئة.

(*) ZEROING IN ON CANCER
(1) infection أو عدوى.
(2) coil
(3) البصر الثاني.

(التحرير)

تكشــف أدوات التصوير الاعتياديــة الأورام عندما تكبر لدرجــة تكفــي لرؤيتها عنــد **التفرس** scaning. وتســتطيع الجســيمات النانوية كشف خلية ســرطانية واحدة في عيّنة تضم عشرة ملايين خلية سليمة. والاختبارات الجارية للكشف عن سرطان الثدي في الجسيمات النانوية، على سبيل المثال، يمكن بواسطتها كشف أورام أصغر بمئة مرة من الأورام التي يمكن كشــفها بتصوير شــعاعي للصدر. ويمكن للجسيمات النانوية المزودة ببروتينات نوعية للسرطان أو بمواد جينية أن تســاعد الأطباء أيضا على التمييز بــين الأورام الخبيثة وبين الالتهابات العادية أو الأورام الحميدة.

يعكف ‹لانزا› [وهو أســتاذ الهندســة الطبية البيولوجية في جامعة واشــنطن في سانت لويس] مع زملائه على تطوير جســيمات نانوية تبحث عن الأوعية الدموية الحديثة التشكل التــي تقدم التغذية على نحو نوعي لنمو الأورام وتشــير إلى وجودها والتي تعتبر مرحلة رئيســة في تطور أورام القولون والثدي وغيرها من الســرطانات. فمثل هذا النمو في الأوعية لا يحدث عادة في نســيج غير ســرطاني. ويمكن لهذه التقانة أن تقدم للأطباء معلومات حول سرعة نمو السرطان، وبالتالي حول ضراوة المعالجة التي يجب أن تطبق.

أما ‹گامبير› [وهو أســتاذ الأشعة التشخيصية في جامعة ســتانفورد] فقد ركز اهتمامه مع زملائه على سرطان القولون والمســتقيم، وذلك في محاولة لكشــف الأورام الخبيثة البالغة الصغر التي ربما لا يكشفها التنظير العادي للقولون. وقد أنتجت هذه المجموعة جسيمات نانوية مصنوعة من الذهب والسيليكا، ثم أضافوا إليها جزيئات تعطي تعليمات للجســيمات النانوية كــي تتجه مباشــرة نحو الخلايا الخاصة بســرطان القولون، وعندما ترتبط الجزيئات الهادفة بورم في القولون أو المســتقيم فإن المعادن في الجسيمات النانوية تُشتت الضوء الصادر عن منظار خاص مما يكشف وجود السرطان.

كما يحاول المهندسون المتخصصون بالجسيمات النانوية أيضــا اصطناع جســيمات نانوية تؤدي مهــام متعددة مثل توضيح الأورام في **التصوير بالرنين المغنطيســي** (MRI) **والإصــدار البوزيترونــي** (PET)، ومنهــا إيصــال أدوية الســرطان إلى تلــك الأورام. ويمكن لمثل هــذه المجموعة من **الجهائــز النانوية** nanodevices أن تســمح للأطباء برؤية ما إذا كان أحــد العلاجات يصل إلى المــكان الذي يفترض أن يصل إليــه، وما إذا كان فعالا. والأطبــاء في غالب الأحيان، لا يعلمــون جيدا مدى وصول العلاج إلــى الورم وذلك حتى عند اســتعمال العلاجات التي تؤثر تأثيرا نوعيا في الخلايا الســرطانية ولا تؤثر في الخلايا الســليمة. يقول ‹لانزا› إن التصويــر هو الذي يســمح لك بمعرفة أنك قــد قمت بالفعل بإيصال الدواء وبمعرفة الكمية التي أوصلتها منه.

وتواجه الجهود المبذولة لاســتعمال الجســيمات النانوية في الممارســة الطبية بالعيادات بعض العوائق، إذ ســيكون على العلماء مثلا إثبات أن هذه الوسائل الفائقة الصغر آمنة للاســتعمال البشري، ولكن ‹گامبير› يقول إن «العقبة الأكبر والوحيدة التي تواجهها معالجة السرطان هي فقدان الأهداف المعقولة.» ويمكن تصميم الجسيمات النانوية تصميما متقنا، ولكنها كما يقول «ليســت ســحرية»؛ إذ لا يعرف الباحثون مــا يكفي حول المراحل الباكرة لنمو الســرطان، ولا يعرفون بالتالــي الجزيئات التــي ينبغي توجيه الجســيمات النانوية صوبهــا. ويقول ‹لانزا› طالما أننا لــم نعرف الأهداف «فإننا لم نخطُ بعد الخطوة الأولى»، ويتابع قائلا: «علينا أن نمشــي قبل أن نســتطيع الجــري.» يقدر المحللــون الصناعيون أن الاستثمارات في حقل الطب النانوي ستصل إلى 130 بليون دولار فــي عام 2016، وهذا يعني أن الســباق نحو كشــف الحقائق سيتواصل.

مقياس البعد الشخصي

جهائز ذكية يمكن غرسها[*]

تصدر **مُرقابات (أجهزة مراقبة)** monitors لاسلكية جديدة تحذيرات للمرضى من حدوث نوبة قلبية وشيكة أو تساعدهم على تدبير الداء السكري.

يعكــف المهندســون الطبيــون البيولوجيون علــى تطوير **مراقبــات**[1] بالغــة الصغــر وقابلة للغــرس، وبمقدورها أن تخمــن كيفية معالجة المرضى المصابين بأمراض مزمنة، مثل الأمراض القلبية والســكري، على أفضــل وجه ممكن. ففي الوقــت الحاضر، يتــم في العيادات اختبــار العديد من هذه الجهائز التي ترسل البيانات لاســلكيا في المناطق الرئيسية من الجســم أو من الدم إلى مســتقبلات خارجية. وفي نهاية المطــاف، يمكن لأجهزة المراقبة التي يمكن غرســها أن تؤدي دورا فــي المعالجة أكثر فعالية، ولــن يقتصر هذا الدور على

(*) SMART IMPLANTABLE DEVICES
(١) monitors



سبيل المثال بشكل أساسي على كشف **اضطرابات نظم** arrhythmias القلب الخطيرة، بل يتجاوز ذلك إلى إصدار صدمة تعيد الحياة إلى القلب المتوقف. وتستهدف أداتان من هذه الأدوات التي يتواصل تطويرها المشكلتين الطبيتين الأكثر شيوعا:

النوبات القلبية. صنعت **شركة النظم الطبية**[1] في «شروسبري» بنيوجرسي، جهيزة أطلقت عليها اسم AngelMed Guardian، لا يزيد حجمها على حجم ناظمة ضربات القلب لتتعقب ضربات القلب الواحدة تلو الأخرى. وقد تم تصميمها لتستمع إلى النماذج غير السوية من ضربات القلب مثل زيادة سرعة القلب أو اضطراب النبض عند الناجين حديثا من نوبة قلبية (والذين جعلتهم النوبة القلبية عرضة للإصابة بنوبة قلبية أخرى) ولكنهم غير مؤهلين لزرع ناظمة لضربات القلب أو مزيل **للرجفان القلبي** defibrillator. فإذا أحست الجهيزة بنوبة أخرى وشيكة فإنها تهتز وتسبب إطلاق أصوات وإصدار ومضات متقطعة لتنبيه المريض والأشخاص الآخرين ليهبوا للمساعدة. ولتجنب التحذيرات الزائفة ينبغي أن تكتشف الجهيزة الإشارة الدالة على المشكلة لمدة تزيد على دقيقة واحدة قبل أن ترسل تحذيرها. ويمكن تنزيل المعلومات التفصيلية التي استمدتها الجهيزة من القلب لاسلكيا على الحاسوب بغية تحليلها. وقد أجازت شركة النظم الطبية لشركة أخرى تصنع مزيلات الرجفان القلبي القابلة للغرس، استعمال تقنيتها الخاصة بمراقبة الضربات القلبية. وستسمح التقانة المشتركة للجهيزة بإيصال تيار كهربائي إلى القلب فور اكتشاف جهاز المراقبة إشارات تدل على توقف القلب أو على اضطراب خطير في نظم القلب في الوقت الذي ترسل فيه أيضا نتائج تخطيط القلب الكهربائي إلى الطبيب.

مستويات الگلوكوز غير السوية. صنعت شركة GlySens في سان ديگو جهيزةً جديدة (**محساسا** sensor) يمكن غرسها لمعايرة مستوى الگلوكوز، وقد يقدم يوما ما لكل واحد من مئات الملايين من المصابين بالداء السكري نظاما لاسلكيا خاصا به لمراقبة گلوكوز الدم. وتسجل هذه الجهيزة قراءات تكاد تكون متواصلة لمستوى السكر تحت الجلد الذي يرتبط بمستواه في الدم. وكانت النتيجة الحصول على معلومات حول كمية جرعات الأنسولين ومواعيد إعطائها، أكثر دقة واكتمالا من تلك التي يمكن تحقيقها عن طريق اختبار الدم المأخوذ من وخز الإصبع. ونظرا لكون الجهيزة قابلة للغرس، فإنها تتطلب قدرا من الصيانة أقل مما تتطلبه أجهزة المراقبة الخارجية المتوفرة حاليا.

يقول ‹لوسيانو› [وهو مهندس بيولوجي يشغل منصب الرئيس والمدير التنفيذي للشركة GlySens]: «نريد أن نعطي المريض والأسرة جهيزة بسيطة لدرجة يمكنهم أن ينسوا أنها موجودة وأن يحصلوا منها على المعلومات فقط.» ويضيف ‹لوسيانو›: «إن معالجة الداء السكري والكثير غيره من الأمراض المزمنة تعتمد على المراقبة وتعرف أنماط الإشارات والوصول بها إلى أفضل حال ممكن». لذلك فإن امتلاك أداة اتصال لاسلكية ترد خلالها «كميات كبيرة من البيانات بأقل تكاليف ممكنة سيمكننا من عمل أشياء لا يمكن مجرد توقعها.»

ومن المرجح أن تصبح **المحساسات** sensors اللاسلكية في المستقبل أكثر حذقا، فقد طور الباحثون أداة نحيلة ومرنة يمكن تطبيقها على الجلد بشكل يشبه الوشم المؤقت، أو غرسها داخل الجسم، ويمكنها جمع قراءات سرعة النبض والتقلصات العضلية وحتى الموجات الدماغية. وقد طورت الشركة MC-10 [وهي شركة في كامبردج ماساتشوستس تصنع الأجهزة الإلكترونية المرنة] دارة مستقبلية تكاد تكون محمولة بالكامل ولها مصدر للإمداد الداخلي بالطاقة و**مرسِلة (جهاز إرسال)** transmitter. ومن المرجح أن توليفة تجمع بين المراقبة اللاسلكية للأعضاء الداخلية واستخدام التقانة التي تتسم بالمرونة والشكل الملائم ستتيح للمرضى والأطباء المعلومات الفورية البالغة الأهمية حول طيف واسع من الحالات المرضية المزمنة التي كانت صعبة التدبير منذ زمن طويل.

---

(١) Angel Medical Systems

اختبارات دموية لكشف الأمراض النفسية(*)

يمكن لمستويات بروتينات معينة أن توفر طريقة جديدة لتشخيص الفصام والاكتئاب.

تريد <S. باهن>[1] تغيير الطريقة التي يتم وفقها تشخيص الاضطرابات النفسية الخطيرة. فقد قضت 15 عاما تسبر أغوار الدم والدماغ لدى مرضى الفصام والاضطرابات الثنائية القطب (وفيه يتذبذب مزاج الشخص بين **الهوس** mania و**الاكتئاب** depression)، وتبحث عن بروتينات تشير إلى احتمال حدوث هذه الحالات لدى أحد الأشخاص. ويؤمل أن تقدم هذه الجزيئات التي تعرف باسم **الواسمات البيولوجية** biomarkers طريقة أكثر موضوعية لتعرّف الأمراض النفسية من الطريقة المعتادة التي يستند فيها التشخيص إلى حد كبير، إلى السلوكيات التي يُبلّغ عنها المريض نفسه.

ومع أن الواسمات البيولوجية قد حسّنت طرق تشخيص العديد من الأمراض ومن بينها الداء السكري والمرض القلبي، فلم يثبت حتى الآن أنها مفيدة أيضا في الأمراض النفسية. ومع ذلك، فإن <باهن> إلى جانب عدد قليل من الاختصاصيين في العلوم العصبية، مقتنعون بأن الواسمات البيولوجية ستصبح في وقت قريب مكوّنا لا غنى عنه من مجموعة وسائل تشخيص الأمراض النفسية. ويتوفر الآن تجاريا اختباران دمويان - يستند أحدهما إلى الأبحاث التي أجرتها <باهن> - يُستخدمان لهذا الغرض.

وفي عام 1977 بدأت <باهن> بتفحص نسج دماغية محفوظة لرجال ونساء ماتوا وكانوا مصابين بالفصام، فوجدت أن في العينات التي فحصتها مستويات عالية أو منخفضة من 50 بروتينا مقارنة بالنسج الدماغية لأشخاص أصحاء، ويسهم 19 بروتينا منها في العمليات التي تجريها **المتقدرات**[2]، وهي **عضيات** organelles ضئيلة جدا منتجة للطاقة في الخلايا. كما وجدت <باهن> أيضا بيّنات على أن العصبونات لدى مرضى الفصام لا تستطيع استخدام الكلوكوز استخداما فعالا، وإنما تعتمد على جزيئات مختلفة هي اللاكتات كمصدر بديل للطاقة.

وفي عام 2006 وجدت <باهن> اختلافات كيميائية حيوية مشابهة في السائل الدماغي الشوكي وفي الدم لدى الأحياء المصابين بالفصام. وقد ميّزت في دراستين هما الأحدث من بين دراساتها، المرضى المصابين بالفصام من أولئك الأصحاء بدقة بلغت 80 في المئة، وذلك بفحص مستويات 51 بروتينا من بروتينات الدم. وتضم هذه المجموعة من الواسمات البيولوجية (الحيوية) الكورتيزول، وهو هرمون الاستجابة **للكرب** stress، وبروتينا يعرف باسم **العامل التغذوي العصبي المشتق من الدماغ**[3] (BDNF)الذي يشجع على نمو عصبونات جديدة إلى جانب إنشاء اتصالات جديدة بين العصبونات الموجودة من قبل.

واستنادا إلى الأبحاث التي أجرتها <باهن> طوّر مختبر Myriad في أوستن بولاية تكساس اختبارا دمويا لكشف الفصام تبلغ تكلفته 2500 دولار أمريكي وأطلق عليه اسم VeriPsych، وهو اختبار يقيس مقادير البروتينات المختلفة التي حددتها <باهن> من قبل. ومع أن الاختبار لم يحصل على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA، فقد سمح للأطباء النفسيين باستخدامه في ممارساتهم. (بعض الاختبارات التي يقتصر إجراؤها على مختبر وحيد لا تحتاج إلى موافقة الإدارة FDA طالما أنه يلبي المعايير الصارمة لاستخدامه عند المرض).

ويشبه ذلك ما طورته شركة Ridge للمواد التشخيصية التي مقرها سان دييگو، وهو اختبار لواسم بيولوجي لكشف الاكتئاب توفره الشركة من خلال مختبر في كارولينا الشمالية لقاء 745 دولارا أمريكيا. ويدعى هذا الاختبار MDD Score (والاسم MDD مشتق من الأحرف الأولى لعبارة **الاضطراب الاكتئابي الكبير** major depressive disorder)، وهو يكشف 10 واسمات بيولوجية في الدم من بينها العامل التغذوي العصبي المشتق من الدماغ BDNF والكورتيزول.

هذا ولم يتحقق العلماء من صحة هذه الاختبارات الدموية في التجارب السريرية باستثناء دراسات صغيرة موّلتها الشركات ذاتها. ومع ذلك، فإن عددا قليلا من الأطباء النفسيين يجدون أن هذه الأدوات تساعدهم على تمييز الفصام من **الذهان المؤقت المحرض بالأدوية**[4] أو على مساعدة المرضى المصابين بالاكتئاب على تقبّل حقيقة حالتهم وحاجتهم إلى المساعدة. ■

(*) BLOOD TESTS FOR MENTAL ILLNESS

(1) رئيسة مختبر في جامعة كامبردج.

(2) mitochondria

(3) brain-derived neurotrophic factor (BDNF)

(4) a temporary drug-induced psychosis

مراجع للاستزادة

Personalized Medicine: www.genome.gov/13514107
Bionic Eye: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2801810
Zeroing In on Cancer: http://nano.cancer.gov
Smart Implantable Devices: www.ted.com/talks/eric_topol_the_wireless_future_of_medicine.html
Blood Tests for Mental Illness: www.nap.edu/catalog.php?record_id=11947

Scientific American, May 2012

تتمة الصفحة 25 (العقل المُبتهج)

المتعة المرافقة للتجربة المعيشــة، وذلك انطلاقا من الشــروط الآنية التي يخضع لها الكائن الحي، كالجوع والشبع مثلا، أو الشــعور بتحقيق ما يكفي من أحد أصناف المتع. فمثلا، بعد تناول فطيرة بكاملها، يُصبح حتى مدمن الشكولاته المُسلّم به أقل انجذابا إلى قطعة من الحلوى.

وبخصــوص الغذاء، فإن مثل هذا الشــبع الانتقائي ربما تطوَّر في جزء منه، لحث الحيوانات على تنويع واسع لوجباتها الغذائية، وعــدم حصرها في صنف غذائــي واحد مفضّل. ويبدو أن عملية تكويد الشبع الانتقائي، تتم جزئيا في **القشرة الجبهيــة الحجاجيــة** orbitofrontal cortex بالدمــاغ، وهي باحة تقع في أســفل بطن **القشــرة قبل الجبهيــة** prefrontal cortex التي تتدلى بدورها لتصل إلى مستوى ما فوق العينين عند الإنســان. وتتلقى هذه الباحة معلومات من النواة المتكئة والكرة الشاحبة البطنية على حد سواء. ويبدو أن هذه الباحة هي المكان الذي تتم فيه إجراءات التعديل المتعلقة بكيفية تمثيل المتعة على مســتوى الوعي – أي كيفية غَمْر الإحساس بذلك الوهج اللذيذ الذي يقترن لدينا بشعور يُعلن عن إشباع الرغبة وتراجع حدة المشاعر، وعن صوت داخلي يقول: كفى.

وبفضل تقنيات التصوير العصبي العالية الدقة، اكتشفنا منطقة صغيرة ضمن القشرة الجبهية الحجاجية تُدعى **الموقع الأمامي المتوسط** midanterior site. وهي منطقة ترتبط ارتباطا وثيقا بعملية الاستمتاع الشخصي بإحساس لذيذ، كالإحساس بطعــم الشــوكولاته بالحليب، مثــلا. فما أن نتناول الرشــفة الأولى – مثلا – حتــى يبدأ الموقع المذكور بالاتّقاد نشــاطا. ولكن ما أن يســتهلك الكائن الحي ما يكفيه من الحلوى، حتى يُوقف هذا الموقع نشاطه، وتفقد التجربة المعيشة متعتها.

وهنــاك دليل آخر علــى ما للموقع الأمامي المتوســط من أهمية بالنســبة إلى المتعة البشــرية. وهــو دليل يأتي من الدراسات المتعلقة بموضوع **التنبيه العلاجي لأعماق الدماغ** therapeutic deep-brain stimulation[1]. وتُستخدم هذه الطريقة لمعالجة عدد قليل من الحالات، بما في ذلك حالات الألم المزمن المعنّد، لتخفيــف معاناة المرضى الذين لم يســتجيبوا لطرق العــلاج الأخرى. وقــد لاحظنا لدى أحــد مرضانا المبتوري الأطراف، والذي كان يشكو من ألم في شبح طرفه المبتور، أن تنبيه إحدى باحات جذع الدماغ، لا يخفف من ألمه وحسب، بل يولّد لديه أيضا مشــاعر عميقة من المتعة. وقد أظهر التصوير العصبــي المتزامــن مع ذاك التنبيه، أيضا زخة من النشــاط فــي «الموقع الأمامي المتوســط». والســؤال هنــا: هل يُمكن اســتثمار مثل هذه التقنية؛ تقنية «تنبيه بؤر معينة من منظومة المتعة»، في معالجة الاكتئاب وغيره من حالات **انعدام التلذذ** anhedonia – أي انعدام مقدرة اختبار الاستمتاع الشخصي؟ ولا يزال هذا السؤال مثار استقصاء علمي نشط.

وبالمثل، فقــد تنجح أبحاث إضافية في الكشــف عن طبيعة الترابط بــين الدارات الناظمــة للمتعة، والــدارات المتحكمة في المكافــأة. ففي الحــالات الطبيعية تكون البــؤر التلذذية مترابطة بمنظومــة المكافأة المُســيَّرة بالدوبامين بطريقة تجعلنا نشــتهي الأشياء التي تحرّض لدينا شعورا طيبا، ونتجنب ما عداها أو لا نكترث بها. أما في حالة الإدمان، فيكون الاتصال بين هذه النظم، بطريقة أو بأخرى، مقطوعا، الأمر الذي يفسّــر استمرار المدمن بسعي حثيث إلى الحصول على أشياء لم تعد قادرة على إمتاعه. وقد يكون هذا التفكك عاملا مســهما في ظهور أنماط أخرى من السلوك القهري، مثل شراهة الطعام والمقامرة، على سبيل المثال. إن فهم لماذا وكيف يمكن لمثل هذا الانفصال أن يحدث قد يساعدنا على اكتشــاف وسائل أفضل، قادرة على قلب المعادلة التي تقوم عليها التغيرات الدماغية المحرّضة على الإدمان، والقادرة بالتالي على إعادة العلاقة الطبيعية للرغبة والمتعة.

لقد أبدى <أرســطو> مرة ملاحظة تقول إن السعادة تقوم على عاملين أساســيين اثنــين: الغبطة أو **المتعــة**[2]، و**إدراك المغــزى**[3]. وعلى الرغم من بعض التقدم الذي أحرزه العلماء في استكشاف الأساس البيولوجي للمتعة، فما زلنا لا نعلم إلاّ النزر القليل عن كيفية قيام الدماغ بتوليد معنى أكثر شمولية لحياة مَعِيشَــة عيشــة رضيّة. ومع ذلك، فإننا نأمل بأن هذا اللغز أيضــا يمكن أن تُفك رموزه بمرور الوقت، ونأمل أيضا بأن تحصل اكتشــافات جديدة تُعين النــاس على ربط المتعة بالغاية، ومن ثــم تهذيب تجارب الحياة اليومية وتحويلها إلى قضايا مُرْضِيَة، وربما سامية. ■

(١) انظر: «*Sparking Recovery with Brain 'Pacemakers*,» by Morten L. Kringelbach and Tipu Z. Aziz; *Scientific American Mind*, December 2008/January 2009

(٢) hedonia, or pleasure

(٣) eudaimonia

مراجع للاستزادة

A Common Neurobiology for Pain and Pleasure. Siri Leknes and Irene Tracey in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 9, pages 314–320; April 2008.

The Pleasure Center: Trust Your Animal Instincts. Morten L. Kringelbach. Oxford University Press, 2008.

Pleasures of the Brain. Edited by Morten L. Kringelbach and Kent C. Berridge. Oxford University Press, 2010.

Building a Neuroscience of Pleasure and Well-Being. Kent C. Berridge and Morten L. Kringelbach in *Psychology of Well-Being: Theory, Research, and Practice*, Vol. 1, No. 3; October 2011. www.psywb.com/content/1/1/3

Scientific American, August 2012

أي الأنواع سيستمر في الحياة؟(*)

كما الأطباء في أرض المعركة، يُجبر المحافظون على الطبيعة على التطبيق الصريح لمبدأ الفرز وفقا للأولويات لتحديد المخلوقات التي يجب الحفاظ عليها وتلك التي يُتخلى عنها.

<M. نيگهوس>

طائر **النَّو العاصف** storm-petrel، هو طائر بحري صغير الحجم لونه رمادي غامق يعشــش علــى 11 جزيرة صخرية معزولة في المحيط الهادي قبالة شواطىء كاليفورنيا والمكسيك. وهو بوزنه الذي لا يزيد إلا قليلا على وزن بطاقة بريدية ثقيلة، وبالمنافسة المفروضة عليه من قبل جرذان وفئران وقطط غازية ونــوارس عدوانية وتلوث نفطي وارتفاع في مســتوى البحر، يواجــه معركة بقاء أكبر منه. وقد تبقّى منه، في آخر تعداد له 10 000 طائــر فقط. كذلك فإن عدة أنواع أخرى من طائر النّو العاصف مهددة بالانقراض أيضا.

ومــع ذلك، فقد قررت مجموعة واحدة على الأقل من حماة الطبيعة تجاهل مصير طائر النّو. ففي شــتاء عام 2008 كانت جمعية حمايــة الحياة البرية(1) تركــز جهودها المترامية على عــدد صغير من الحيوانات. وقــد قضى باحثو هذه الجمعية شهورا في تحليل آلاف أنواع الطيور والثدييات التي تتناقص أعدادهــا في العالم، وقد اختاروا عدة مئات منها لتؤدي دور حجر الزاوية في عمــل المنظمة. وبعد ذلك توجهوا إلى أناس يمتلكــون عقودا من الخبرة في دراســة الحياة البرية، وذلك لتضييق الاحتمالات أكثر.

تجمّع العشــرات من هؤلاء الخبــراء في غرف مؤتمرات صغيرة بمدينة نيويورك ومونتانا الجنوبية الشــرقية وبوينس آيــرس لتحديــد خياراتهم. وقــد حكموا علــى كل نوع من خلال درجــة أهميته لنظامه الإيكولوجي، وقيمته الاقتصادية والثقافية، وإمكانية أن يشكل رمزا يمثل حماية الأنواع. وقد صوتوا على كل حيوان علنا، عن طريق رفع بطاقات حمراء أو صفراء أو خضراء. وعند وقوع عدم توافق كبير فيما بينهم، كان الخبراء يدعمون أسباب اختياراتهم باستشهادات، لتعود اللجنة للتصويت مرة أخــرى. وبحلول منتصف اليوم الأول كانت معظم اللجان قد اســتبعدت أكثــر من نصف الأنواع على قوائمها.

ولكــن، وعنــد نقطة من بعــد ظهر كل يوم لقــاء من تلك اللقاءات، ستتكشــف حقيقة هذه العمليــة. ففي الوقت الذي كانت فيه مجموعــات كاملة من الحيوانــات، بما فيها طائر النّــو العاصــف، تعتبــر قيّمة، ولكن ليســت قيّمــة بما فيه الكفايــة، يتوقف أحــد العلماء عن العمل بهــدوء، وهو يقول بكتفــين متخاذلين وعينين جامدتــين: «إنني مندهش تماما». ويشــجع أعضاء الفريق زميلهم، مذكرينه بأن خيارات كهذه كانت ضرورية، وأن العلم الذي يقف وراء هذه الخيارات علم صلــب. فيقترح <J. فريزر> [وهو عالــم نفس حماية الطبيعة يقوم بترؤس اللجان] استراحة لتناول القهوة. ويتذكر «أقول،

باختصار

لم يعد ممكنا **لمجموعات الحفاظ على الطبيعة** Conservation groups حماية العدد نفســه من الحيوانــات والنباتات الذي كان ممكنا لهم في الماضي، لذلك فهم يلجؤون بشــكل متزايد إلى نظم جديدة من الفرز وفقا للأولويات ليحددوا بشكل واضح أي الأنواع مرشح للحماية وأيها يجب أن يترك ليموت.

أشكال **الفرز وفقا للوظيفة - أولا** Function-first تحبّذ الأنواع التــي تقوم بعمل فريد في الطبيعة، كالصنوبر ذي القلف الأبيض، الذي يقدم غذاء أساسيا للدب الأشهب.

تسعى مقاربات **التطور- أولا** evolution-first إلى حفظ التنوع الوراثي - من **الجَمَل الباختيري**(2) **الثنائي السنام** two-humped Bactrian camel إلى السلمندر الصيني الضخم - الذي يمكنه أن يســاعد اســتمرار أنواع العالم على البقاء والتكيف وسط شروط بيئية سريعة التبدل.

المناهــج الأخرى تحسِّــن مقاربة البؤر الســاخنة التي تحظى بشــعبية، والتي تركز على حفظ النظم الإيكولوجية ككل، ولكنها لا تبالي بحاجات الإنسان.

(*) WHICH SPECIES WILL LIVE?
(1) Wildlife Conservation Society
(2) نسبة إلى باختر Bactria الاسم القديم للمنطقة الواقعة ما بين نهر أموداريا وغرب قندهار.



المؤلفة

Michelle Nijhuis

صحفيـة مقيمة في كولورادو تكتب عن العلم والبيئة للعديد من المطبوعات. وقامت كزميلة لمؤسسة أليسيا باترسون لعام 2011، بإجراء أبحاث حول استراتيجيات حماية الأنواع المهددة لدرجة خطيرة بالانقراض.

أنا آسف، ولكن علينا التوقف». هـذا جزء مهم من العملية، ويضيف: «كان من المهم الاعتراف بجسامة ما نقوم به – وهو أننا نواجه فقدا على مستوى هائل.»

كان الخبراء يعرفون أن كل جماعات حفظ الأنواع والوكالات الحكومية تتعامل مع خيارات مشابهة بطريقة غير معلنة، ولكن آليـة جمعية حماية الحياة البرية جعلـت هذه القرارات أكثر وضوحا وإيلاما. وكانت الضغـوط البيئية تتنامى مع تقلص الميزانيات المتاحة، وازدياد تفضيل السياسـيين والمشـرِّعين لمسـاعدة الاقتصاد على حسـاب مدّ يد العون للكوكب، وقد أقر العديد من العلماء بالحاجة إلى الفرز وفق الأولويات. فهم يقولون إنه قد حان الوقت ليرفعوا بطاقاتهم.

الفرز وفق الأولويات: عبارة فظّة(*)

إن مفهوم الفرز وفقا للأولويات المستخدم في مجال حفظ الأنواع مبنـيٌّ إلى حد ما على نظيره المسـتخدم في المجال الطبي، وهو نظام اتخاذ قرارات يسـتخدمه الأطباء العاملون فـي أرض المعارك منذ حـروب نابليون. وهنـاك عدة أنماط مختلفة من مبدأ الفـرز الطبي وفق الأولويات، ولكنها جميعا تشمل تصنيف المرضى حسـب أولوية علاجهم في الحالات الحرجـة حيث يكون هناك شـح في الوقـت أو الخبرات أو الموارد أو الثلاثة معا. والقرارات مؤلمة ولكنها تعتبر ضرورية للمصلحة العليا.

ولكـن في عـام 1973، عندما أقر الكونگـرس الأمريكي قانون الأنواع المهددة بالانقراض، لم يكن المزاج مزاج شـح بل اتصف بالسـخاء. لقد نص القانـون، الذي لايزال يُعتبر أكثـر قوانين البيئة قوة في العالم، على أهلية جميع الأنواع، التـي لا تعتبر آفة، من **النسـور الصلعـاء** bald eagles إلى الخنافـس، للحمايـة. وأكدت أحكام المحاكـم الصادرة في مرحلة لاحقة السـلطة الواسـعة لهذا القانون. وفي كتابهما «خيـار نوح» Noah's choice يصـف الصحفي <Ch. C. مان>



والاقتصـادي <L .M. بِلْمَر> المنطق الـذي يتبناه هذا القانون بأنه شبيه بمبدأ نوح: جميع الأجناس متساوية أساسا، وكل شـيء يمكن ويجـب أن يُحافَظ عليه بغـض النظر عن مدى أهميته للبشر.

وقد ظهـرت المصاعب فـي نهاية الثمانينـات من القرن الماضي، عندما أدى إدراج طائر البوم المرقط الشمالي وبعض أشكال سـمك السـلمون، ضمن قائمة الأنواع المهدَّدة، إلى تهديد المصالح الاقتصادية لصناعة الخشـب وصناعة صيد السـمك القويتين، مما أدى إلى إطلاق سلسلة من المحاولات السياسـية والقانونيـة تهدف إلى إضعـاف قانون الحماية. وقـد قاوم البيئيون هذه الهجمات، ولكن الصراع الحاد جعل العديد من الداعمين يشـكِّكون في أي تغييرات مقترحة على القانون، بما فيها تلك التي تهدف إلى زيادة فعاليته. وبشـكل خاص، خشـي الداعمـون للقانـون أن أي محاولة صريحة لتصنيف الأنواع المهددة ضمـن أولويات معينة – أي تطبيق المبـدأ العام للفرز وفق الأولويات – سـيؤدي فقط إلى تقوية جهود المعارضين لمحاولـة الحد من عدد الأنواع في القائمة. فـإذا كان لا بد لمثل هذه القرارات من أن تُتخذ، فمن الأفضل أن تتخذ بهدوء، وبعيدا عن متناول السياسة.

يقول <H. دورموس> [أسـتاذ القانون بجامعة كاليفورنيا في بيركلي]: «لقد كان الوسـط البيئي يعارض دائما الحديث عن الفرز وفقا للأولويـات. وعلى الرغم من معرفتهم أن ذلك كان يحصل، فإنهم كانوا يمتنعون عن الحديث عنه.»

إن الفرز وفقا للأولويات هو اليوم واحد من أكثر الأفكار

(*) TRIAGE: A FOUR-LETTER WORD = كلمة قبيحة.

استفزازا للعاملين في مجال حفظ الأنواع. فهو بالنسبة إلى العديد منهم يستحضر ليس فقط التهديدات السياسية لقوانين مثل قانون الأنواع المهددة بالانقراض، بل كذلك التخلي عن المسؤولية الأخلاقية تجاه الطبيعة المتضَمَّنة في مبدأ نوح. «الفرز لفظة قبيحة[١]»، هذا ما صرح به مؤخرا ‹S. بم› [عالم بيولوجيا حفظ الأنواع] لموقع منتدى ‹G. لانترن› من مجلة سليت Slate، وأضاف: «وأنا أُحسن العدّ.»

> **عاجلا أو آجلا سيكون من الصعب جدا حفظ نوع مُعَرَّض للانقراض. ومع ذلك، فلا يزال العديد من العاملين في مجال حفظ الأنواع غير مرتاحين لاتخاذ القرارات النهائية والمصيرية التي يتطلبها الترتيب وفقا للأولويات.**

أشجار الصنوبر أو الجِمال[*]

يقول العاملون في مجال حفظ الأنواع الذين يدفعون باتجاه نظام صريح من الفرز وفقا للأولويات إنهم بذلك يجلبون مزيدا من التفكير المنهجي والشفافية لممارسات كانت تُتَّبع ضمنيا لفترة طويلة من الزمن. إذ يقول ‹T. ميل› [وهو نائب الرئيس في منظمة المدافعين عن الحياة البرية Defenders of Wildlife]: «إن الطريقة التي نتَّبعها الآن في الولايات المتحدة هي أسوأ الخيارات الممكنة. إنها تعكس - جوهريا - تحديدا اعتباطيا تماما للأولويات». إذ يقول ‹ميل› إن الأنواع ذات الحساسية السياسية تجتذب تمويلا أكبر، وكذلك الأمر بالنسبة إلى الأنواع الموجودة في الأماكن المدروسة بكثافة: «إننا نعيش في عالم الفرز وفقا للأولويات اللاواعي.»

وفي السنوات الأخيرة، اقترح الباحثون طرائق عدة لصناعة قرارات تعتمد الفرز وفقا للأولويات، وذلك بهدف تأمين الفائدة القصوى للطبيعة ككل. فيدافع بعض العلماء عن التقييم وفقا لدوره في النظام الإيكولوجي، وهي مقاربة يمكن أن يطلق عليها «الوظيفة-أولا». ويقول دعاة هذه المقاربة، إن الأنواع المهددة التي تقوم بعمل فريد، أو ما يسمى بالأنواع **المظلة** umbrella التي يعتمد على استمرارها بقاء عدة أنواع أخرى، يجب أن تُخَص بالحماية قبل الأنواع ذات الدور المسمى بالدور المُكرَّر. وأحد الأمثلة على ذلك هو الحملة التي أُطلقت لحماية أشجار الصنوبر ذات القلف الأبيض الموجودة في الأماكن المرتفعة من جبال الروكي، وهي أشجار تتعرض لضغط بيئي ناجم عن ارتفاع درجات الحرارة ودورات اجتياح الخنافس المرتبطة بذلك. ويرى العديد من مجموعات حماية الأنواع أنه يجب إعطاء حماية هذا النوع من الصنوبر أولوية عالية بسبب كون ثماره من الصنوبر ذي المحتوى العالي من الدهون مصدرَ غذاءٍ مهم للدب الأشهب في الخريف والربيع.

إن ميزة مقاربة «الوظيفة-أولا» هو أنها تركز على أدوار إيكولوجية محددة للنوع بدلا من التركيز على مجرد عدد أفراد النوع، مما يعطي العاملين في حفظ الأنواع فرصة أفضل لحماية نظم إيكولوجية فاعلة. ولكن هذه المقاربة مفيدة فقط في النظم المفهومة جيدا، وهذه عددها قليل. إن تحليلا يعتمد حصريا على مقاربة الوظيفة-أولا سيغفل - بشكل شبه مؤكد - العديد من الأنواع المهمة إيكولوجيا.

وكبديل عن ذلك، يدافع برنامج **المميز تطوريا والمهدد عالميا**[٢] المشار إليه اختصارا بـ(EDGE) - التابع لبرنامج إكزيستنس Existence الذي تديره **جمعية لندن لعلوم الحيوان**[٣] - عن ترتيب أولويات الأنواع اعتمادا على المستوى الجيني، وهي مقاربة يمكن أن تسمى «مقاربة التطور-أولا.» فبدلا من التركيز على أنواع معروفة جيدا ولها العديد من الأقارب، يفضل البرنامج EDGE الأنواع المهددة ذات البنية الجينية الأكثر غرابة. وتشمل الأمثلة الجَمَل الباختيري ذا السنامين، و**الإنشيدنا**[٤] ذا المنقار الطويل، حيوان ثديي قصير وله شوك يضع البيض، والسلامندر الصيني الضخم، الذي قد ينمو ليصل طوله إلى ستة أقدام.

تؤكد مقاربة التطور-أولا على حفظ التنوع الجيني، الذي يمكن أن يساعد جميع أنواع العالم على البقاء والتكيف ضمن ظروف بيئية سريعة التغير وذلك عن طريق تأمين **تجميعية جينية** gene pool راسخة. ولكن وكما تشير ‹M. گرووم› [الإيكولوجية من جامعة واشنطن] فإن الاستخدام الحصري لهذه المقاربة يمكن أن يغفل أخطارا أوسع تؤثر في مجاميع **تصنيفية** taxa كاملة، تاركا مجموعة من الأنواع عرضة للانقراض الشامل. وتتساءل: «ماذا لو كان فرع كامل من شجرة التطور في خطر؟ ماذا نفعل حينها؟»

طبعا، تعود قيمة الأنواع إلى عدة أسباب مختلفة. بعضها يؤدي دورا حيويا في النظام الإيكولوجي، وبعضها

(*) PINE TREES OR CAMELS

(١) الفرز وفقا للأولويات هي الترجمة العربية للفظة triage، ويشير النص الأصلي في هذا الموضع إلى أن لفظة triage هي لفظة كناية عن لفظة سباب بذيئة في اللغة الإنجليزية.

(٢) Evolutionarily Distinct and Globally Endangered

(٣) Zoological Society of London

(٤) الإنشيدنا: قنفذ النمل.

(التحرير)

يمتلك جينــات فريــدة، وبعضهـا يقدم خدمات وفيرة للإنســـان. ولا يمكن لأي معيار أن يحيــط بجميع هذه الصفات. لذا قامــت جمعية حفظ الحيــاة البرية بالجمع بــين مقاربات مختلفة من الفرز وفقــا للأولويات الواردة فــي تحليلها: فأعطت أولويــة للأنواع المهــددة التي تمتلك حجم جســم أكبــر ولديها مجال انتشار جغرافي أوسع؛ والعلة في ذلك أن حماية هذه المخلوقات ســتفيد على الأغلب العديد من النباتات والحيوانات الأخرى. كذلك فقد أعطت ترتيب أولويات أعلى للأنواع التــي تمتلك تميُّزا جينيا أضخم. وبعد ذلك، نظرت لجنة الخبراء في صفات أكثر ذاتية للأنواع، كالأهمية الثقافية والجاذبية اللتين تؤديان – سواء أحببت ذلك أم لا – دورا مهما في جمع التبرعات.

وتقول ‹گرووم› التي ســاعدت على تنفيـذ التحليل الذي أجرته الجمعية، إن الجمعيــة آثرت التوجــه الذي يجمع بين عدة مقاربات لأن الكثيــر من المعلومات التــي احتاجتها هــي وزملاؤها لم تكن معروفــة أو كانــت غير قابلــة للقياس. فتقــول: «هناك قدر كبيــر من الغموض والجهــل في معرفتنا لجميــع الأنواع». ولكن بالجمع بين البيانات المتوفرة وآراء الخبراء، حدّد التحليل مجموعة صغيرة من الأنــواع ذات «الأولوية العالمية» التي يمكن للمنظمة التركيز عليها.

نظم إيكولوجية في مقابل الأنواع(*)

نظرا لأهمية حماية ليس فقط الحيوانات الفردية ولكن أيضا العلاقات فيما بينها، يقول بعض الباحثين إنه يجب على مقاربات الفرز وفقا للأولويات أن تختار فيما بين النظم الإيكولوجية بدلا من الأنواع. ففي أواخر الثمانينــات من القرن الماضي اقترح عالم البيئة البريطاني ‹N. مايرز› أن يحاول زملاؤه عبر العالم حماية أكبر عــدد من الأنواع عن طريــق التركيز على مناطق الأرض المليئــة بنباتات لا توجد في أي مكان آخر على كوكبنا والتي هي أيضا عرضة لتهديدات بيئية ضاغطة.

أطلق ‹مايرز› على مثل هذه الأماكن اسم البؤر الساخنة. وقد عَرَّف في النهاية بالتعاون مع زملائه في مؤسســـة حماية الطبيعة الدولية(1) خمساً وعشــرين نقطة ساخنة عبر العالم، من كاليفورنيا الساحلية إلى مدغشقر، اعتقدوا أنها يجب أن تكــون على رأس قوائم الأولويات. تجمع هذه المقاربة، بطريقة مــا، بين مقاربتــي الوظيفة-أولا والتطــور-أولا: فهي تحمي العلاقــات الإيكولوجية عن طريق التركيز على نظم إيكولوجية

ملصق أطفال

رابحون وخاسرون(**)

يجـرب العاملـون فـي حفـظ الأنواع أشكالا مختلفـة من الترتيـب وفقـا للأولويات لمساعدتهم على تحديد الأنواع التي يجب المحافظة عليها، وتلك التي لا يحافظ عليها وكل طريقـة تفضـل أولويات محددة، كـدور الحيوان في حفظ السلسـلة الغذائية أو اسـتدامة التنوع الجيني. وخدمة هذه الأولويات ستحدد في النهاية الأنواع الرابحة أوالخـاسرة. وفيما يلي بعض الأمثلة:



(*) ECOSYSTEMS OVER SPECIES
(**) Winners and Losers
(1) Conservation International

بكلِّيَتِهـا، وهي تحمي التنوع الجيني بإعطاء الأولوية **للأنواع الأصلية التي لا توجد في مكان آخر** endemic species. وقد نالت الفكرة شعبية، وهي اليوم تؤثر في القرارات المتخذة من قبل العديد من المتبرعين والمنظمات البيئية والحكومات.

على الرغم من ذلك، انتقد باحثون في السنوات الأخيرة فكرة البؤر الساخنة وذلك لأنها تبالغ في تبسيط مشكلة عالمية ولأنها لا تكترث بحاجات الإنسان [انظر: «الحفاظ على البيئة من أجل البشر»، العلوم، العددان 4/3(2008)، ص22]. «لقد كانت فكرة رائعة في ذلك الوقت»، كما يقول <H. بوسينگهام> [من جامعة كوينزلاند في أستراليا]. ويضيف: «ولكنها لم تستخدم سوى معيارين فقط.»

وفي جهد هدفَ إلى تحسين هذا المفهوم، طوَّر <بوسينگهام> وزملاؤه برنامج ماركسان Marxan، وهو برنامج حاسوبي واسع الاستخدام حاليا. فهو يهدف إلى زيادة فعالية محميات حفظ الأنواع إلى حدها الأقصى وذلك بالأخذ في الحسبان ليس فقط وجود الأنواع الأصلية التي لا توجد في مكان آخر ومستوى الأخطار التي تحيق بجهود حفظها، ولكن أيضا عوامل أخرى مثل تكلفة حماية هذه الأنواع و «درجة التكاملية» - أي درجة مساهمة كل محمية جديدة في حماية التنوع الحيوي القائم. فمثلا، لا تُعرف غابات المانگروف بغناها بالأنواع بشكل خاص وربما لا يتم اختيارها أبدا بواسطة تحليل البؤر الساخنة التقليدي؛ ولكن برنامج <بوسينگهام> قد يقترح حماية غابات المانگروف في منطقة حُفِظت فيها قطاعات مُمَثِّلة لطرز غابات أخرى أكثر تنوعا، مما سينتج منه عدد كلي أكبر من الأنواع المحفوظة.

ولكن، قد يكون تأسيس وحماية المحميات والحدائق أمرا صعبا، ولكون التغير المناخي آخذاً بالفعل في إزاحة مناطق الأنواع، فإن الحدود الثابتة ربما لا تقدم أفضل حماية طويلة الأمد لبعض الأنواع. واستجابة لذلك، أعدّ <بوسينگهام> آلية لتخصيص المصادر تتجاوز اختيار البؤر الساخنة مما يتيح لصانعي القرار مقارنة التكاليف، والفوائد واحتمالات النجاح لدى اختيارهم بين التكتيكات المختلفة لحفظ الأنواع. ويقول <بوسينگهام>: «أنت تنفذ أفعالا - لا أنواعا»، ويضيف: «إن كل ترتيب للأولويات يجب أن يُعنى بالأفعال، ليس أقله بسبب أن الأفعال في العديد من الحالات تساعد العديد من الأنواع.»

وقد استخدمت إدارة حفظ الأنواع في نيوزيلاندا آلية تخصيص المصادر في تحليل استراتيجيات حماية نحو 710 جنس أصلي في حالة تدهور. وقد توصل التحليل إلى استنتاج مفاده أنه من خلال التركيز على الأفعال الأقل تكلفة وذات الفرص الأكبر في النجاح، فقد يكون بالإمكان المحافظة على أعداد من أنواع إضافية تعادل نحو نصف عدد النباتات والحيوانات من الأنواع التي يراد حفظها وبالتكاليف المالية نفسها. ومع أن بعض العلماء يقلقون من أن هذه الآلية تؤكد كثيرا على حفظ أرقام محضة من الأنواع المهددة بالانقراض بينما لا تعير إلاّ القليل من الاهتمام للحفاظ على وظيفة النظام الإيكولوجي، يجري الآن تحليل تخصيص المصادر في أستراليا، وقد تحدث <بوسينگهام> حول هذه الآلية مع المسؤولين في إدارة الأسماك والحياة البرية في الولايات المتحدة الأمريكية.

تقول <M. بوتريل> [من مؤسسة حماية الطبيعة الدولية، وهي زميلة لـ <بوسينگهام>]: «يعتقد الناس أن الفرز وفقا للأولويات يعني التخلي عن أنواع أو الاعتراف بالفشل،» ولكن على العكس من ذلك، تجادل <بوتريل> قائلة: «إنه من خلال حساب التكاليف والمكاسب الناجمة عن أفعال محددة، تصبح الخيارات جلية.» وتستطيع الهيئات والمنظمات تحديد ما الذي يُحَافظ عليه، وما الذي يُفْقَد، وما الذي يمكن أن يُحَافظ عليه بميزانية أكبر، مما يمنحهم حجة أكبر للتمويل.

النجاح يولد نجاحا(*)

من الممكن أن يؤدي مجرد القيام بتحديد الأولويات بعلانية أكثر إلى حثّ المجتمعات على إنفاق أموال أكثر على جهود حفظ الأنواع. يقول <ميل> [من مؤسسة «المدافعون عن الحياة البرية» Defenders of Wildlife] إضافة إلى كون خطط تحديد الأولويات بعيدة عن تعريض الطبيعة لمخاطر السياسة، فإنها تقدم ميزات عملية وسياسية. ويقول <ميل>: «إذا ركزنا جهودا أكثر على الأشياء التي نعرف كيف نساعدها، فإننا سنحقق مزيدا من النجاح، وإن تحقيق المزيد من النجاحات هو حجة مقنعة - ليس فقط للسياسيين وإنما للناس العاديين أيضا - من أجل توضيح السبب الذي من أجله «يجب أن تستمر برامج حفظ الأنواع.»

ولكن تَتَبُّعُ مثلَ هذه النجاحات خسائرُ لا يمكن نكرانها، ويجب أن يعترف بها أي نظام حقيقي للترتيب وفقا للأولويات. ويقول <R. مالوني> [من إدارة حفظ الطبيعة في نيوزيلاندا]: «نحن جيدون كبشر - أو لسنا كذلك - في تبرير أي قدر من العمل على أي شيء بناء على قيم غير معلنة. فنحن لا نجيد تماما القول "بما أنني أعمل على هذا النوع من الكائنات، فلن أقوم بتمويل أو العمل على هذه الأنواع السبعة أو الثمانية الأخرى، وسيكون مصيرها الانقراض"». ومع ذلك، فإن <مالوني> نفسه متردد في التصريح عن أسماء الأنواع التي يحتمل أن تفشل في التحليل الذي تجريه وكالته حول المصادر.

(*) SUCCESS BREEDS SUCCESS

إذ يتراجع **البطريق نطاط الصخر** Rockhopper penguins الذي تدهور مصدر غذائه الرئيس من **الكريل**(١) krill بسـبب تقلص مسـاحة مياه البحر المتجمدة بفعل التغير المناخي إلى أسفل قائمة الإدارة بسبب الإجراءات المكلفة والبعيدة المدى التي يجب اتخاذها لحمايته. ولكـن ‹مالوني› يرى أن الأولوية المنخفضة لهـذا النوع يجب ألاّ ينظر إليها على أنها حكم بالإعدام، وإنما دعوة لفعل شيء ما من قبل مجموعات أخرى.

ولكن، عاجلا أو آجلا، سـيحتاج نوع أو **موئل** habitat مـا - مثلا البطريق نطاط الصخـر، أو النظام الإيكولوجي للصنوبـر ذي القلف الأبيض - إلى إجراءات تفوق تكلفتها حـدود تحمّل أي حكومة أو مجموعة. فما العمل عندئذ؟ هل تسـتمر المجتمعات بإغداق النقود على قضية محكوم عليها بالفشـل أو تسـمح بانقراض الأنواع، واحـدا إثر الآخر، تحـت أنظارها؟ ومع أن النقاش حـول ترتيب الأنواع وفقا للأولويات قد قطع شـوطا كبيرا، إلاّ أن العديد من العاملين في مجـال حفظ الأنــواع لا يزالون غيـر مرتاحين لتحمُّل مسـؤولية القرارات النهائية والمصيريـة التي يتطلبها نظام الترتيب وفقا للأولويات.

والمعضلـة المركزيـة هنا هي، تماما كما فـي حالة نظام ترتيـب العلاج وفق الأولويات المتبع فـي أرض المعركة، أن الخط الفاصل بين فرصة النجاح أو القضية الخاسرة تقريبا غيـر واضح على الدوام. ففي الثمانينات من القرن الماضي، عندمـا لم يكن تعداد **الكندور**(٢) في كاليفورنيا يزيد على 22 نسـرا، ادّعى بعض البيئيين أنه يجب السـماح لهذا النوع «بـأن يموت بوقار.» ولكـن آخرين احتجّوا بنـاء على مبدأ التطور-أولا، داعين إلى إجراءات شـجاعة وضخمة لحماية أثر نادر مـن العصر **البليوستوسيني** Pleistocene. ومن خلال توظيف اسـتثمارات مالية ضخمة، إضافة إلى الوقت والخبرة، رُبّيت النسـور في الأَسْـر وأعيدت في النهاية إلى البراري، حيث يبلغ عدد ما يطير منها الآن 217 نسرا، لاتزال مهددة بالانقراض ولكنها مفعمة بالحياة.

يقول ‹J. ناگل› [أستاذ القانون بجامعة نوتردام والذي يكتب بكثرة حـول المواضيع البيئية]: «بإمكاننـا منع الانقراض، لقد أثبتنا ذلك». ويضيف: «ولكن ما يجعل الناس يشـعرون بغصة ولا يريدون التحدث في هذا الموضوع هو معرفتنا أن الانقراض شيء كان بإمكاننا إيقافه، ولكننا اخترنا ألا نفعل ذلك».

كذلك، فمن خـلال إيجاد ما يطلق عليه ‹R. هوبس› [عالم إعادة تأهيل البيئة المعروف] اسـم «السـلة المفرطة التكلفة» حيث تضم الأنواع التي سـيكون الحفاظ عليها باهظ التكلفة، فإن نظام الفرز وفقا للتكلفة المتبع يمكن أن يسمح للمجتمعات بالتخلي بشكل مبكر عن الحالات التي يصعب الاستمرار فيها، مختارة المكافـآت الاقتصادية القصيرة الأمد بدلا من تحقيق أهداف حفظ الأنواع الطويلة الأمد. يضم قانون الأنواع المهددة بالانقراض نفسه بندا خاصا لمثل هذه «السلة المفرطة التكلفة» يجيـز للجنة من الخبراء يمكن لها، في ظروف غير عادية، أن تسـمح لإحدى الوكالات الفيدرالية بانتهاك بنود قانون حماية الأنواع. ولكن يصعب عن عمد اجتماع هذا الفريق الذي يطلق عليه فريق الخالق وقد قام حتى الآن بتطبيق اسـتثناء وحيد ذي معنـى لقانون الأنواع المهددة بالانقراض: وهو السـماح لإدارة الغابـات بالموافقة على بيع بعض الأخشـاب من بيئة البوم المرقط الشمالي التي تعاني للاستمرار في البقاء.

ولكن مع استمرار الضغوط الناجمة عن تغير المناخ وتوسع المجتمعات والضغوط العالمية الأخرى التي يتعرض لها التنوع الحيوي، ستتزايد أعداد الأنواع التي هي بحاجة إلى إجراءات بطولية من أجل المحافظة على بقائها. وترتيب أولويات الأنواع وفقـا للوظيفة الإيكولوجية، أو التاريـخ التطوري أو وفقا لأي سـمة أخرى، سيساعد على تشكيل اسـتراتيجيات المحافظة علـى الأنواع، ولكن، وتوخيا للصالـح العام للأنواع الأخرى العديدة، فعلى الأغلب، سـيتعين علـى المجتمعات أن تتخلى بشكل واعٍ عن تنفيذ جهود الإنقاذ الأكثر تكلفة والأقل وعدا.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية، اقترح الباحثون الحقوقيون طرائـق لتعديل قانون حماية الأنواع المهددة بحيث يُؤخذ هذا الواقع بعين الاعتبار - لمسـاعدة القانـون على الانحناء بدلا من كسـره تحت الضغط السياسـي. ومع ذلك يقول ‹ناگل› إن جوهر القانون (مبدأ نـوح) ما زال قائما بالفعل. وبالنظر إلى الإغراءات التي ترافق نظام الترتيب وفقا للأولويات، يقول ‹نـاگل›: «يبقى الحضّ على حمايـة كافة الأنواع هدفا قيِّما، ولربما ضروريـا.» تماما كما يعمل الطبيب في أرض المعركة دون توقف على حفظ الأرواح، حتى وهو يعلم بأنه لا يمكنه إنقاذ جميع الجرحى، فعلـى المجتمعات أن تطمح إلى تحقيق مبدأ نوح - وأن تُملأ السفينة إلى حافتها. ■

(١) الكريل: حيوان قشري شبيه بالقريدس.
(٢) الكندور: أحد نسور أمريكا الشمالية.

مراجع للاستزادة

Noah's Choice: The Future of Endangered Species. Charles C. Mann and Mark L. Plummer. Knopf, 1995.

Optimal Allocation of Resources among Threatened Species: A Project Prioritization Protocol. Liana N. Joseph et al. in Conservation Biology, Vol. 23, No. 2, pages 328–338; April 2009.

Heatstroke: Nature in an Age of Global Warming. Anthony D. Barnosky. Shearwater, 2010.

Scientific American, August 2012

لماذا نتساعد[*]

إن التعاون هو أبعد ما يكون عن كونه استثناء في قانون التطور، فقد كان أحد مهندسيه الرئيسيين[1].

<A .M. نواك>

في الشهر الرابع الماضي، عندما كانت مفاعلات محطة دايتشي فوكوشيما للطاقة النووية تنصهر بعد الزلزال المميت والتسونامي، كان أحد عمال الصيانة في العشرينات من عمره من بين أولئك الذين تطوعوا للدخول إلى المحطة في محاولة للمساعدة على عودة الأمور إلى السيطرة. وكان يعرف أن الهواء مسممٌ ومن المتوقع أن هذا الخيار سوف يبقيه عازبا من دون زواج على الدوام أو من دون إنجاب أطفال خشية تعرضهم لعواقب صحية. ومع ذلك استمر بالدخول مرة بعد أخرى عبر بوابات فوكوشيما للعمل في هواء المحطة المملوء بالإشعاع – وذلك لقاء تعويض لا يتعدى أجرته المتواضعة المعتادة. «هناك بعض منا فقط من يستطيع القيام بهذه الوظيفة»، هذا ما أوردته صحيفة الأنديبندنت في الشهر السابع الماضي على لسان هذا العامل، الذي يرغب في البقاء مجهول الهوية. ويتابع «إنني شاب غير متزوج، وأشعر بأن من واجبي المساعدة على تسوية هذه المشكلة.»

ومع أن أمثلة **السلوك الغيري** selfless behavior ربما لا تنتهي دائما إلى حجم بطولي كهذا، فإنها تكثر في الطبيعة. فالخلايا داخل **متعضٍ** organism تنسق فيما بينها للحفاظ على اقتسامها تحت السيطرة ولتجنب التسبب بالسرطان، فعاملات النمل في العديد من الأنواع تضحي بخصوبتها الخاصة خدمة لملكتها ومستعمرتها، وإناث الأسود (اللبوات) ضمن مجموعة من الأسود تُرضِع شبل لبوة أخرى. وأفراد البشر يساعدون غيرهم من أفراد البشر على القيام بكل شيء: من الحصول على الغذاء إلى العثور على زملاء للدفاع عن أرضهم. وحتى لو أن المساعدين ربما لا يفقدون بالضرورة حياتهم، فإنهم يخاطرون بتخفيض فرص نجاحهم التناسلي لصالح فرد آخر.

ولعقود طويلة من الزمن قلق علماء الأحياء حول التعاون، وتنافسوا على فهمه في ضوء وجهة النظر السائدة للتطور بوصفه تنافسا شرسا. إن <تشارلز داروين> [في دفاعه عن حجته في التطور **بالانتقاء (الانتخاب) الطبيعي** natural selection – حيث غالبا ما تُنتج الأفراد من ذوي الصفات المرغوب بها ذرية أكثر من أقرانها وبذلك تسهم أكثر في الجيل القادم] دعا هذا التنافس «صراعا من أجل حياة أقسى». و بسرعة تقود هذه المناقشة، بأخذها إلى نهايتها المنطقية القصوى، إلى استنتاج مفاده أن على المرء ألا يساعد على الإطلاق منافسا، وقد يكون عليه في الواقع أن يكذب وأن يغش للمضي قدما. فالفوز في لعبة الحياة – بطريقة أو بأخرى – هو كل ما يهم.

لماذا، إذن، يكون **السلوك الغيري** ظاهرة منتشرة؟ على مدى العقدين الماضيين استخدمْتُ أدوات من **نظرية المباريات** game theory لدراسة هذا التناقض الظاهري. ويشير بحثي إلى أنه بدلا من أن التعاون يعارض التنافس، فإنه يسير

(*) WHY WE HELP

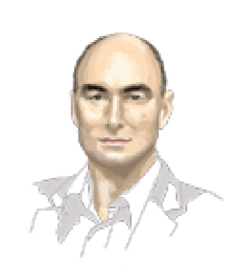
(١) حول الدور المسيطر للتعاون في الصراع الداروينى من أجل البقاء، انظر أيضا «حسابات التعاون»، **العلوم**، العدد 1(1996)، ص 70. (التحرير)

باختصار

يميل الناس إلى التفكير في التطور كصراع تنافس شرس (بالضبط، ككلب يأكل كلبا) من أجل البقاء على قيد الحياة. وفي واقع الأمر، كان التعاون قوة محركة للتطور.

هناك خمس آليات يمكن أن تنشأ عن التعاون في **المتعضيات** organisms بدءا من البكتيريا إلى البشر.

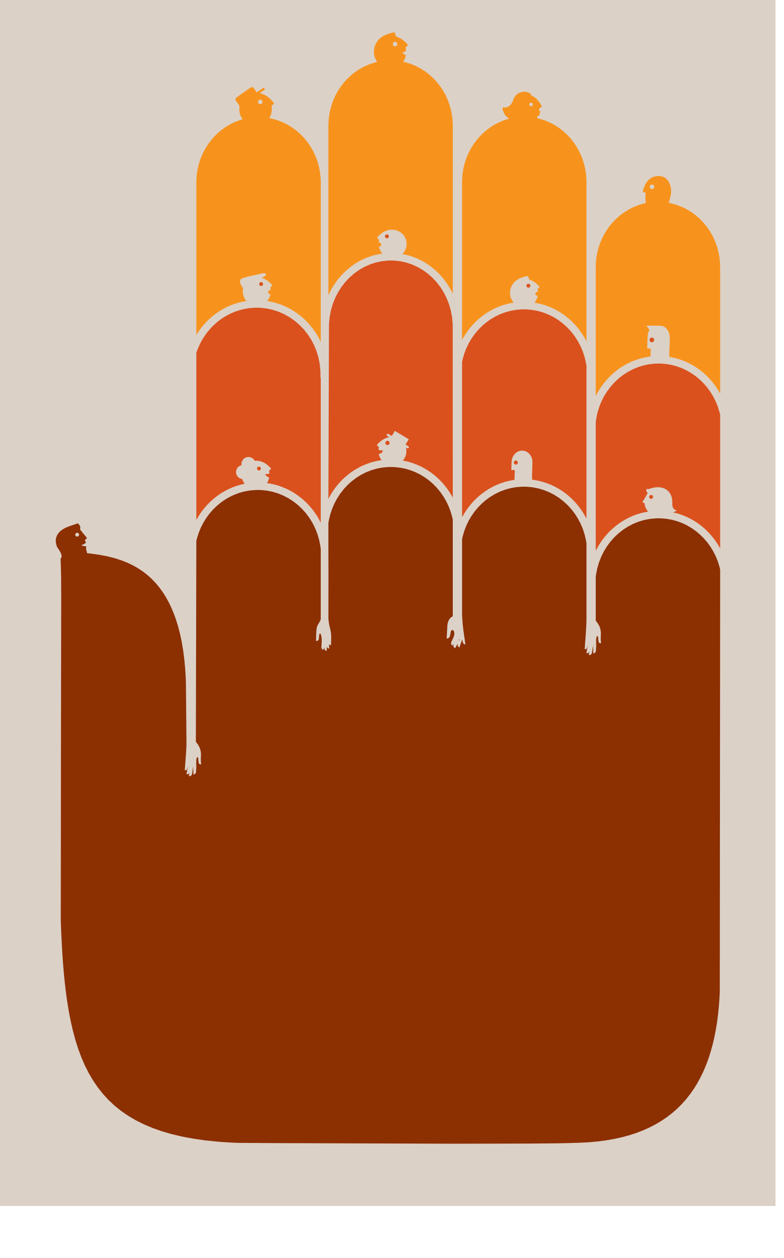
ويقدم البشر مساعدة بشكل خاص بسبب الآلية **التبادلية** reciprocity غير المباشرة، التي ترتكز على **السمعة** reputation وتقودنا إلى مساعدة أولئك الذين يساعدون الآخرين.



المؤلف

Martin A. Nowak

أستاذ علم الأحياء والرياضيات في جامعة هارڤارد ومدير برنامج الديناميكا التطورية. وتتركز أبحاثه على الأسس الرياضياتية للتطور.



معه منذ البداية جنبا إلى جنب، لتجسيد شكل من تطور الحياة على الكرة الأرضية : من الخلايا الأولى إلى **الإنسان العاقل** Homo sapiens. فالحياة ليست مجرد صراع من أجل البقاء – إنها أيضا، يمكن للمرء القول: موقع مريح للبقاء على قيد الحياة. وبأي حال من الأحوال لم يكن الشعور بالتأثير التطوري للتعاون أكثر شدة من تأثيره في البشر. وتشير نتائج أبحاثي إلى أن سبب ذلك ينبغي أن يكون هذا هو الحال، كما تؤكد أن مجرد مساعدة بعضنا البعض كانت مصدر نجاحنا في الماضي، وهو أيضا جاهز لأن يكون حيويا لمستقبلنا.

من عدو إلى حليف(*)

يرجع اهتمامي بالتعاون لأول مرة إلى عام 1987، عندما كنت طالب دراسات عليا في الرياضيات وعلم الأحياء في جامعة ڤيينا. لقد تعلمت بينما كنت في منتجع مع بعض الزملاء من الطلبة والأساتذة في جبال الألب، عن مفارقة في نظرية المباريات تدعى **معضلة السجين**(1) Prisoner's Dilemma، التي توضح بشكل رائع لماذا أربك التعاونُ علماءَ البيولوجيا التطورية. وهذه المعضلة تجري كما يلي: تخيل أنه تم القبض على شخصين ويواجهان عقوبة السجن لأنهما تآمرا على ارتكاب جريمة. ويستجوب المدعي العام كل واحد منهما على حدة ويضع شروط التوصل إلى صفقة معهما: إذا انقلب أحدكما على الآخر وبقي الثاني صامتا، يحصل **المُتهِم** incriminator على حكم بالسجن سنة واحدة فقط، بينما يحصل الفرد الصامت على حكم بالسجن أربع سنوات. وإذا تعاونتما ولم ينقلب أحدكما على الآخر، يحصل كل منكما على حكم مخفف بالسجن لمدة سنتين. ولكن إذا اتهم كلٌّ واحد منكما الآخرَ، يحصل كل واحد منكما على حكم بالسجن ثلاث سنوات.

وبسبب استجواب كل منهما على حدة، لا يعرف أي منهما ما إذا كان شريكه سوف يتعاون. وبوضع مخطط للنتائج المحتملة على مصفوفة النتائج [انظر المؤطر في الصفحة 50]، يمكن للمرء أن يرى أن الرهان الأفضل، من وجهة نظر شخصية، هو أن ينقلب كل واحد منهما على شريكه ويُجِّرمه. وإضافة إلى ذلك، وبسبب أن كلا الطرفين سوف يتبع هذا الخط نفسه من المنطق ويختار اللاتعاون (الانقلاب على شريكه)، فكلاهما سوف يتلقى الحصيلة الأفضل الثالثة (الحكم بالسجن ثلاث سنوات) بدلا من الحكم لمدة سنتين الذي يمكن أن يحصلا عليه إذا تعاونا.

لقد أغرتني معضلة السجين بقوتها للبحث في العلاقة بين التنافس والتعاون. وفي نهاية المطاف، طورت مع <C. سيكموند> مستشاري لدرجة الدكتوراه، تقنيات لإجراء محاكاة حاسوبية للمعضلة باستخدام مجتمعات كبيرة بدلا من الاقتصار على

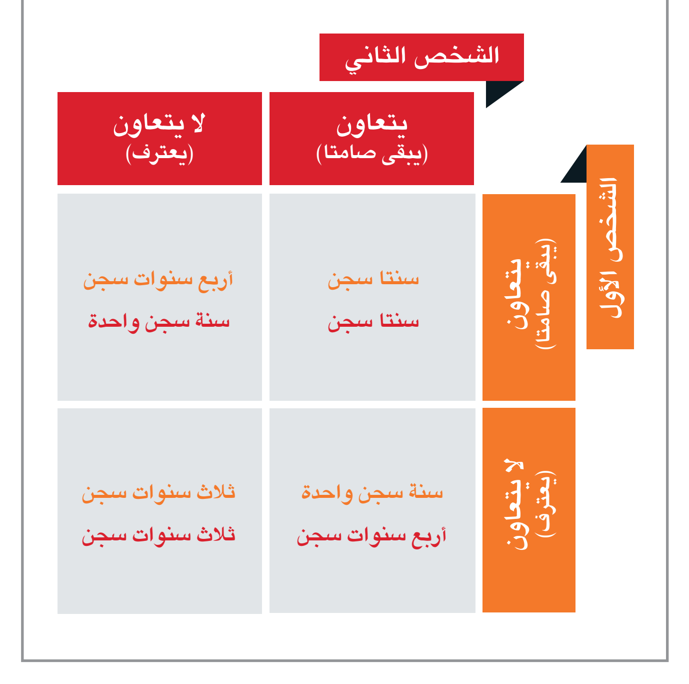
(*) FROM ADVERSARY TO ALLY

(1) حول هذه المعضلة، انظر أيضا مقالة «**حسابات التعاون**»، المشار إليها في حاشية الصفحة المقابلة. (التحرير)

أساسيات

لا تعاون (رفض) طبيعي(*)

توضح مفارقة نظرية المباريات التي تدعى معضلة السجين السبب في عدم توقع وجود تعاون في الطبيعة. يواجه شخصان السجن للتآمر على ارتكاب جريمة. تعتمد أحكامهما على ما إذا اختارا التعاون والبقاء صامتين أو اللاتعاون والاعتراف بالجريمة [انظر جدول المردود في الأسفل]. ونظرا لأن لا أحد منهما يعرف موقف الآخر تجاه التهمة الموجهة إليهما، فالخيار المنطقي – الذي يوفر دائما المردود الأفضل – هو عدم التعاون.



سجينين اثنين. وباتخاذ هذه المقاربات، أمكننا أن نشاهد استراتيجيات الأفراد في هذه المجتمعات وهي تتطور من لاتعاون إلى تعاون وإلى العودة إلى اللاتعاون من خلال فترات من النمو و**التراجع** decline. ومن خلال المحاكاة الحاسوبية، حددنا آلية يمكنها التغلب على ميل الانتقاء الطبيعي إلى السلوك الأناني، الذي يؤدي إلى لامتعاونين بدلا من متعاونين.

لقد بدأنا بتوزيع عشوائي للمتعاونين واللامتعاونين، وبعد كل جولة من المباراة سيستمر الفائزون بإنتاج ذرية ستشارك في الجولة التالية. وكانت الذرية تتبع في الغالب استراتيجية آبائها، مع أن الطفرات العشوائية يمكن أن تزيح استراتيجيتها. وأثناء تشغيل المحاكاة، وجدنا أنه خلال أجيال قليلة فقط كان جميع أفراد الجماعة لا يتعاونون في كل جولة من المباراة. ومن ثم، بعد مرور بعض الوقت، ظهرت فجأة استراتيجية جديدة: سيبدأ اللاعبون بالتعاون وبعد ذلك يعكسون أدوار خصومهم، **دوراً بدور [واحدة بواحدة** tit for tat]. وكان التغيير يقود بسرعة إلى مجتمعات يهيمن عليها المتعاونون.

وهذه الآلية لتطور التعاون بين الأفراد الذين يواجهون بعضهم بعضا بشكل متكرر تُعرف **بالتبادلية المباشرة** direct reciprocity. والمثال المثير على ذلك تقدمه الخفافيش المصاصات الدماء. فإذا فَوَّت أحد الخفافيش الفرصة ليتغذى مباشرة بفريسة يوم ما، فإنه سوف يستجدي من أقرانه الذين تغذوا بصورة كافية عند عودته إلى المأوى. فإذا كان محظوظا، سوف يشاركه أحد زملائه في المأوى بجزء من وجبته من الدم وذلك بالتقيؤ في فم الخفاش الجائع. وهذه الخفافيش من مصاصات الدماء تعيش في جماعات مستقرة وتعود إلى **مجثمها** roost يوميا بعد الصيد، وهكذا يلتقي أعضاء المجموعة بشكل روتيني الواحد بالآخر. وقد أظهرت الدراسات أن الخفافيش تتذكر أي خفاش من الخفافيش هو الذي ساعدها في أوقات الحاجة، وعندما يأتي اليوم الذي يجد فيه الخفاش السخي نفسه بحاجة إلى طعام فمن المرجح أن الخفاش الذي ساعده في وقت سابق يرد إليه جميله.

إن ما جعل محاكاتنا الحاسوبية المبكرة أكثر إثارة هو الكشف عن أن هناك أنواعا مختلفة من التبادلية المباشرة. فاستراتيجية **واحدة بواحدة** tit-for-tat الأولية ضمن عشرين جيلا قد أفسحت المجال لوضع استراتيجية أكثر سخاء، وفيها يبقى اللاعبون يتعاونون حتى وإن كان منافسوهم لايتعاونون. لقد شهدنا في الواقع **تطور المسامحة** evolution of forgiveness – وهي استراتيجية تبادلية مباشرة تسمح للاعبين بالتغاضي عن خطأ عرضي.

إضافة إلى التبادلية المباشرة، حددتُ في وقت لاحق أربع آليات أخرى لتطور التعاون. ففي عدة آلاف من الأبحاث المنشورة من قبل علماء حول الكيفية التي يمكن أن يسود فيها المتعاونون في التطور، تندرج جميع السيناريوهات التي وصفوها في واحدة أو أكثر من هذه الآليات الخمس.

ثمة وسيلة ثانية قد يجد التعاون بموجبها موطئ قدم في جماعة من الجماعات – هي إذا كان المتعاونون واللامتعاونون غير موزعين بشكل موحد في جماعة ما – آلية دعيت **الانتقاء المكاني** spatial selection. فالجيران (أو الأصدقاء في شبكة اجتماعية) يميلون إلى مساعدة بعضهم بعضا، وهكذا في مجموعة من المتعاونين، يمكن أن يشكل هؤلاء الأفراد الذين يقدمون المساعدة مجموعات يمكنها عندئذ أن تنمو، وهكذا تسود في التنافس على اللامتعاونين. وتحصل أيضا عملية الانتقاء المكاني بين أبسط **المتعضيات** organisms. فبين خلايا الخميرة، تُضحِّي المتعاونات بإنزيم من الإنزيمات لهضم السكر. إنها تفعل ذلك **على حسابها** at a cost to themselves. وفي الوقت نفسه، تأخذ الخميرة اللامتعاونة إنزيمات المتعاونات، بدلا من

(*) Natural Defection

تصنيع الإنزيمات الخاصة بها. إن دراسات أجراها <J. كور> [من معهد ماساتشوستس للتقانة]، وبشكل مستقل أجراها <A. موراي> [من جامعة هارڤارد]، كشفت سيادة اللامتعاونات في الخميرة التي نمت في جماعات جيدة الاختلاط. أما في جماعات بكتل من المتعاونات واللامتعاونات، فعلى العكس من ذلك، هيمنت المتعاونات.

ولعل إحدى أكثر الآليات البديهية المباشرة لتطور الغيرية تتعلق بالتعاون بين أفراد ذوي صلة جينية، أو كانوا **منتقين من ذوي القُربى** kin selection. وفي هذه الحالة، يقدم الأفراد تضحيات لأقاربهم لأن أولئك الأقارب يتقاسمون معهم جيناتهم. وهكذا، فمع أن أحد الأفراد قد يخفض لياقته الإنجابية مباشرة من أجل مساعدة قريب له محتاج، لا يزال هذا الفرد يعزز انتشار تلك الجينات التي يتقاسمها المتعاون مع **المتلقين** recipients. وهذا ما نص عليه عالِم الأحياء في القرن العشرين <J. B. S. هالدين> الذي ذكر لأول مرة فكرة «انتقاء ذوي القربى» بقوله: «سوف أقفز إلى النهر لإنقاذ اثنين من إخوتي أو ثمانية من أبناء عمومتي»، مشيرا إلى حقيقة أننا نتقاسم مع إخوتنا 50 في المئة من **الدنا** DNA الخاص بنا، بينما نتقاسم 12.5 في المئة منها مع أبناء عمومتنا المباشرين. (لقد اتضح أن حساب تأثيرات لياقة انتقاء ذوي القربى هي مهمة معقدة إلى حد أنها قد ضللت الكثير من الباحثين. وزملائي يشاركونني الآن في إجراء مناقشات مكثفة حول الرياضيات الأساسية لنظرية انتقاء ذوي القربى.)

أما الآلية الرابعة التي تحفز ظهور التعاون فهي **التبادلية غير المباشرة** indirect reciprocity التي تختلف تماما عن التبادلية المباشرة التي كنت قد درستها في البداية مع <سيكموند>. ففي التبادلية غير المباشرة يقرر أحد الأفراد مساعدة فرد آخر استنادا إلى سمعة الفرد المحتاج إلى المساعدة. والأفراد الذين لديهم سمعة مساعدة الآخرين الذين يواجهون أوقاتا صعبة، قد يجدون أنفسهم في الطرف المتلقي للمساعدة من الغرباء عندما يتخذ حظهم منعطفا سيئا. وهكذا، بدلا من عقلية «أحك ظهرك إذا حَككت ظهري»، قد يفكر المتعاون «سأحك ظهرك وشخص آخر سيحك ظهري». فعلى سبيل المثال، بين نسانيس الماكاك اليابانية، يمكن أن تحسن نسانيس من الرتب المتدنية التي تنظف نسانيس من الرتب العليا (التي لها سمعة طيبة) سمعتها الخاصة - ومن ثم تحصل على فرص إضافية لتنظيف نفسها - ببساطة، لأنها شوهدت وهي بمعية من هم أعلى منها مرتبة.

وأخيرا، يمكن للأفراد القيام بأعمال **غيرية** selfless من أجل المزيد من الصالح العام، وليس من إجل مساعدة نظير واحد فقط. وهذه الآلية الخامسة التي يمكن أن يبدأ بها التعاون، تُعرف **بانتقاء مجموعاتي** group selection. ويرجع إدراك هذه الآلية إلى <داروين> نفسه، الذي ذكر في كتابه عام 1871 «**تَحدُّرُ الإنسان**» The Descent of Man أن «قبيلة تضم الكثير من الأعضاء الذين... كانوا دائما مستعدين لمساعدة بعضهم بعضا وأن يضحوا بأنفسهم للصالح العام، سيكونون منتصرين على معظم القبائل الأخرى؛ وهذا سيكون انتقاء طبيعيا.» وقد دافع علماء الأحياء بعد ذلك بقوة عن فكرة أن الانتقاء الطبيعي يمكن أن يشجع التعاون من أجل تحسين القدرة الإنجابية للجماعة. ومع ذلك، فإن النمذجة الرياضياتية التي استخدمْتُها مع باحثين آخرين، ساعدت على إظهار أن ذلك الانتقاء يمكن أن يعمل على مستويات متعددة، من الجينات الفردية إلى مجموعات من أفراد ذوي قربى وإلى الأنواع كلها. وهكذا، يتنافس مستخدمو شركة من الشركات فيما بينهم للارتقاء في سلم هذه الشركة، ولكنهم أيضا يتعاونون لضمان نجاح الأعمال التجارية لشركتهم في منافستها للشركات الأخرى.

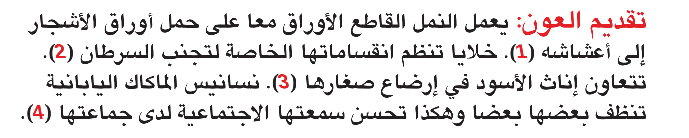
واحد للجميع(*)

تطبق الآليات الخمس التي تحكم ظهور التعاون على جميع أنواع المتعضيات، من الأميبا إلى الحمر الوحشية (وحتى، في بعض الحالات، تطبق على الجينات والمكونات الأخرى للخلايا.) وهذه الشمولية تشير إلى أن التعاون كان، منذ البداية، القوة الدافعة لتطور الحياة على الأرض. إضافة إلى ذلك، هناك مجموعة واحدة تؤكد أن تأثيرات التعاون كانت بشكل خاص مهيمنة عليها: إنها مجموعة البشر. فقد حولت ملايين السنين من التطور أحد القرود البطيئة العزلاء (القاصرة عن حماية نفسها) إلى المخلوق الأكثر تأثيرا في هذا الكوكب، وهو نوع قادر على اختراع مصفوفة معقدة من التقانات التي أتاحت إلى نوعنا البشري أن يفهم أعماق المحيطات، ويستكشف الفضاء الخارجي ويبث، في لحظة، إنجازاتنا إلى العالم. وقد أنجزنا هذه الأعمال الضخمة البطولية بالعمل معا. وفي واقع الأمر فإن البشر هم النوع الأكثر تعاونا - فهم، إذا صح التعبير، **متعاونون فائقون** supercooperators.

ومع الأخذ بالاعتبار حدوث آليات التعاون الخمس في عالم الطبيعة كله، فالسؤال هو: ما الذي يجعل البشر، على وجه الخصوص، الأكثر تقديما للمساعدة من جميع المتعضيات الأخرى؟ وكما أرى ذلك، فالبشر يقدمون العون أكثر من أي من المخلوقات الأخرى، استنادا إلى مبدأ

(*) ONE FOR ALL




تقديم العون: يعمل النمل القاطع الأوراق معا على حمل أوراق الأشجار إلى أعشاشه (1). خلايا تنظم انقساماتها الخاصة لتجنب السرطان (2). تتعاون إناث الأسود في إرضاع صغارها (3). نسانيس الماكاك اليابانية تنظف بعضها بعضا وهكذا تحسن سمعتها الاجتماعية لدى جماعتها (4).



التبادلية غير المباشرة أو السمعة. لماذا؟ لأن أفراد البشر هم الوحيدون الذين لديهم لغة متطورة - وبمعنى أوسع، لديهم أسماء لبعضهم البعض - التي تسمح لهم بنقل المعلومات حول كل شخص من أفراد أسرتهم المباشرة إلى الغرباء المنتشرين على الجانب الآخر من الكرة الأرضية. لقد انتابتنا الهواجس بمن يفعل ماذا ولمن ولماذا - علينا أن نحسن وضع أنفسنا في الشبكة الاجتماعية حولنا. وقد بينت دراسات أن الناس يقررون كل شيء: من دعم أي جمعية خيرية إلى تمويل شركة حديثة وذلك بالاعتماد جزئيا على السمعة. وزميلتي في جامعة هارڤارد <R. هندرسون> [الخبيرة في استراتيجية التنافس في عالم الأعمال] تذكر أن شركة تويوتا اكتسبت جزئيا ميزة تنافسية عن الشركات الأخرى المُصنِّعة للسيارات في ثمانينات القرن العشرين بسبب سمعتها في المعاملة الحسنة مع الموردين.

ويؤدي التفاعل بين اللغة والتبادلية غير المباشرة إلى تطور ثقافي سريع، الذي هو أساسي لقابليتنا على التكيف **كنوع** بشري as a species. ومع انتشار الإنسان وتغير المناخ، سوف نحتاج إلى تسخير تلك القابلية على التكيف وإلى اكتشاف طرق للعمل معا من أجل إنقاذ الكوكب وسكانه. ونظرا للسجلات البيئية الحالية، فإن فرص بلوغ هذا الهدف لا تبدو كبيرة. وهنا أيضا، تُوفر نظرية المباريات تبصرات. وبعض المعضلات التعاونية التي تنطوي على أكثر من لاعبين اثنين تسمى **مباريات مصالح عامة** public goods games. وفي هذا الإطار، يستفيد كل فرد في المجموعة من التعاون الذي أبديه، ولكن إذا بقي كل شيء آخر على حاله، فإنني أزيد من وفائي **بالتحول** defection من تعاون إلى لاتعاون. لذا مع أنني أريد آخرين أن يتعاونوا، فإن خياري «**القاسي**» smart هو ألاّ يتعاونوا. والمشكلة هي أن كل فرد في المجموعة يفكر بالطريقة نفسها، وهكذا ما يبدأ كتعاون ينتهي إلى لاتعاون.

وفي سيناريو المصالح العامة الكلاسيكية المعروف **بمأساة العوام** Tragedy of the Commons [عَرَضَه عالم البيئة الراحل <G. هاردن> في عام 1968] ثمة مجموعة من مربي الماشية تتقاسم أراضي الرعي وتسمح لحيواناتها بالرعي الجائر على العشب المشاع، مع أنها تعرف أنها في نهاية المطاف تُدمر موارد الناس، بما في ذلك موردها الخاص. وأوجه الشبه واضحة مع مخاوف العالم الحالي حول الموارد الطبيعية - من النفط إلى المياه الصالحة للشرب. فإذا كان المتعاونون يميلون إلى ألاّ يتعاونوا عندما يتعلق الأمر بحماية الممتلكات المشاعة، فكيف لنا أن نأمل بالحفاظ على موارد الكوكب البيئية للأجيال القادمة؟

الجميع من أجل واحد(*)

لحسن الحظ، لم يُفقد الأمل كله. فقد كشفت سلسلة التجارب المحوسبة التي قادها <M. ميلينسكي> [من معهد «ماكس بلانك» لعلم الأحياء التطوري بألمانيا] العديد من العوامل التي تدفع الناس إلى أن يكونوا مشرفين جيدين للمُشاعات في **مباريات المصالح العامة** public goods games. وقد أعطى

(*) ALL FOR ONE

يتلقون معلومات موثوق بها حول أبحاث المناخ، وهذا ما يشير إلى أن النــاس بحاجة إلى الاقتناع بأن هناك فعلا مشــكلة لتقديم التضحيات من أجل الصالح العام. لقد كان تصرفهم أيضا أكثر كرما عندما كان يُســمح لهم بعرض إســهاماتهم علنا على الملأ وليس في الســر - وبتعبير آخر، عندما كانت سمعتهم على المحك. وقد أكدت دراسة أخرى أجراها باحثون في جامعة نيوكاســل في إنكلترا على أهمية الســمعة حيث تبين أن الناس كانوا أكثر ســخاء عندما كانوا يشعرون بأنهم يخضعون للمراقبة.

وهــذه العوامل تدخل في الاعتبار كل شــهر عندما أتلقى فاتورة منزلي عن اســتهلاك الغاز. فالفاتورة تقارن استهلاك أسرتي بمتوســط فاتورة كل من استهلاك الغاز المنزلي عند جيراني خارج بوســطن وفاتورة معظم المنازل الأكثر فعالية. ورؤية كيف نقارن استخدامنا مقابل استخدام جيراننا يحفز عائلتي على التقليل من اســتخدام الغاز: فكل شــتاء نحاول تخفيض درجة الحرارة في المنزل درجة فهرنهايت واحدة.

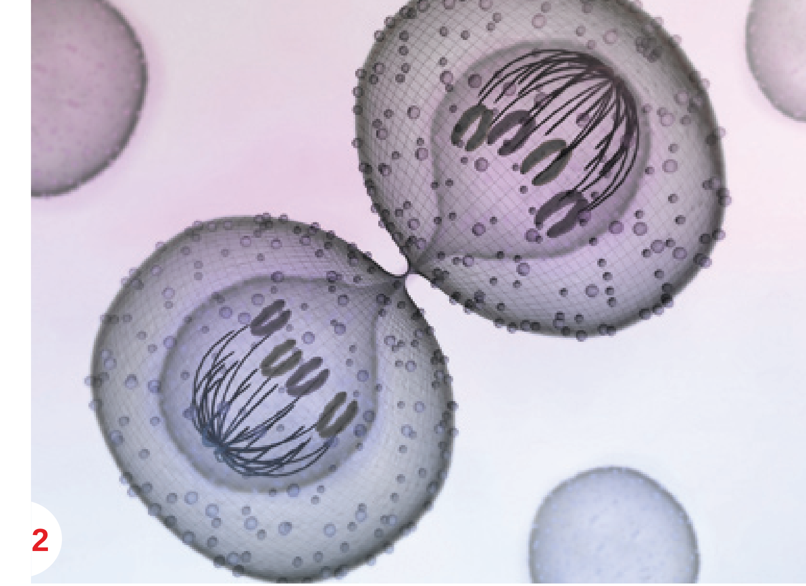
وتشــير **المحاكيات التطورية** evolutionary simulations إلى أن التعاون غير مستقر في جوهره؛ فمن المؤكد أن فترات من النجاح التعاوني تفسح المجال إلى نهاية لاتعاونية. وحتى الآن يبدو أن **روح الغيريــة** altruistic spirit تعيد دائما بناء نفسها؛ وتعيد إلى حد ما ترتيب أهدافنا الأخلاقية. وفترات من التعاون واللاتعاون تكــون مرئية في فترات متناوبة من الخبرات الجيدة والسيئة من التاريخ البشري وتقلبات النظم السياسية والمالية. وموقعنا نحن - معشر البشر - في هذه الدورة غير مؤكد الآن؛ ولكن من الواضح أنه يمكننا أن نقوم بعمل أفضل، وذلك بالعمل معا على حل المشــكلات الأكثر إلحاحا في العالم. وتوفر نظرية المباريات الوســيلة لتحقيق هــذا الهدف. هذا ويجب على صناع السياســة أن يأخذوا علما بالغيرية غير المباشــرة، إضافــة إلى أهمية المعلومات والســمعة في إبقاء اللامتعاونين تحت الســيطرة. وعليهم أيضا أن يستغلوا قدرات هذه العوامل ليجعلوا منا جميعا متعاونــين أفضل في مجالات أم جميــع مباريات المصالح العامة: مهمة ســبعة بلايين شــخص للحفــاظ على موارد كوكبنا المتناقصة بسرعة. ■

مراجع للاستزادة

Five Rules for the Evolution of Cooperation. Martin A. Nowak in Science, Vol. 314, pages 1560–1563; December 8, 2006.

Super Cooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed. Martin A. Nowak, with Roger Highfield. Free Press, 2012.

Scientific American, July 2012



2



4

الباحثون كل لاعب 40 يورو وعملوا على تشــغيل المباراة عن طريق الحاســوب وفيها كان الهدف أن تُستخدم هذه النقود للحفــاظ على مناخ الأرض تحت الســيطرة. وقد جرى إبلاغ المشــاركين أن عليهم أن يتبرعوا ببعض من مالهــم في كل جولة من المباراة إلى صندوق هذه المباراة. فإذا وُجِدت في نهاية عشــر جولات 120 يورو أو أكثر في الصنــدوق، حينئذ يكون المناخ آمنا و يعود اللاعبون عند ذلك إلى بيوتهم مع ما تبقى من نقود، وإذا كان لديهم أقل من 120 يورو، حينئذ سيصبح المناخ سيئا وسيخسر كل واحد نقوده.

ومع أن اللاعبين كانوا يفشلون غالبا في إنقاذ المناخ، وذلك بخسارتهم بضعة يوروات، فقد لاحظ المحققون اختلافات في سلوكهم من جولة إلى أخرى تلمح إلى ما يوحي إلى السخاء. فقد وجد الباحثون أن اللاعبين كانوا أكثر غيْرية عندما كانوا

ماذا يشمُّ النبات(*)

يتَنَسَّم علماء النبات نَفْحة عن الطرق التي تشم بها نبتةٌ نبتةً أخرى. فبعض النباتات تميز جاراتها المصابة عبر الرائحة؛ وأخرى تتنشّق وجبة طعام.

<D. شاموڤيتس>

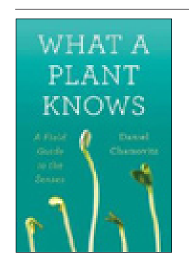
كوسكوتا پينتاگونا cuscuta pentagona ليست نبتة عادية، إنها كرمة رفيعة برتقالية اللون يمكنها أن تنمو حتى ثلاثة أقدام طولا وتنتج أزهارا بيضاء صغيرة ذات خمس بتلات وتوجد على امتداد أمريكا الشمالية. والمعروف عن كوسكوتا [المعروفة بشكل شائع بالهالوك] أنها لا تمتلك أوراقا. فهي ليست خضراء، لأنها تفتقر إلى **الكلوروفيل** chlorophyll، وهو الصباغ الذي يمتص الطاقة الشمسية، وبذا يسمح للنباتات بتحويل الضوء إلى سكاكر وأكسجين عبر عملية **التركيب الضوئي** photosynthesis. وهذه النبتة تأخذ غذاءها من جاراتها. إنها نبات **طفيلي** parasitic. ولكي تحيا، تعلق نفسها على نبات مضيف وتمتص المواد المغذية التي يزودها بها عن طريق حفر زائدة في الجهاز الوعائي للنبات المضيف. وما يجعل كوسكوتا مدهشة حقا أن لها تفضيلات مطبخية؛ فهي تختار أي جارة تهاجم.

تنتشر بذرة الكوسكوتا كبذرة أية نبتة أخرى. وتنمو **الأشطاء**(1) shoots الجديدة في الهواء، وتحفر الجذور الجديدة في التراب. ولكن **هالوكا**(2) dodder صغيرا متروكا لوحده سوف يموت إذا لم يجد بسرعة مضيفا يعتاش عليه. وبينما تنمو بادرات الهالوك تقوم بتحريك رؤوس أشطائها بشكل دوائر صغيرة، سابرة المحيط بالطريقة التي نفعلها بأيدينا عندما نكون معصوبي الأعين أو نبحث عن مفتاح مصباح المطبخ في منتصف الليل. وإذ تبدو هذه الحركات عشوائية للوهلة الأولى، إذا كان الهالوك بجوار نبات (ولنقل نبتة طماطم)، فإنه يتضح سريعا أنه يلتوي وينمو ويدور باتجاه نبتة الطماطم التي سوف تزوده بالغذاء. فالهالوك يلتوي وينمو ويدور حتى يجد أخيرا ورقة الطماطم. ولكن بدلا من أن يلمس الورقة، فإنه يغوص للأسفل ويستمر بالحركة إلى أن يجد ساق نبتة الطماطم، وفي حركة أخيرة من الانتصار يدير نفسه حول الساق، ويرسل نتوءات مجهرية (ميكروية) في **لحاء** phloem الطماطم (الأوعية التي تنقل النسغ السكري للنبات)، ويبدأ بامتصاص السكاكر بما يمكنه من الاستمرار بالنمو وأخيرا الإزهار.

وقد تم توثيق هذا السلوك في فيلم من قبل <C. دي مورايس> [عالمة حشرات في جامعة پنسلڤانيا] التي يتركز اهتمامها الرئيسي على فهم الإشارات الكيميائية الطيارة ما بين الحشرات والنباتات وما بين النباتات بعضها بعضا. وقد ركز أحد مشاريعها على معرفة كيف تجد كوسكوتا مكان فريستها. وقد بينت أن عرائش الهالوك لا تنمو البتة نحو **الأصص** pots الفارغة أو الأصص الحاوية على نباتات مزيفة، ولكنها تنمو حصرا نحو نباتات الطماطم بغض النظر أين وضعتها: في الضوء، في الظل، في أي مكان. لقد افترضت <دي مورايس> أن الهالوك في الواقع قد شم الطماطم. وللتحقق من فرضيتها قامت هي وتلامذتها بوضع الهالوك في أصيص في صندوق مغلق ووضعت الطماطم في صندوق مغلق ثان. وتمّ وصل الصندوقين بوساطة أنبوب دخل صندوق الهالوك من جهة واحدة مما يسمح بالجريان الحر للهواء ما بين الصندوقين. فكان الهالوك المعزول ينمو باستمرار تجاه الأنبوب، مما يوحي أن الطماطم كانت تبث رائحة تنبعث من خلال الأنبوب إلى صندوق الهالوك، وأن الهالوك أحبها.

(*) WHAT A PLANT SMELLS
تُنشر هذه المقالة بتصرف عن الكتاب بعنوان: **ماذا يعلم النبات: الدليل الميداني إلى الحواس** What a Plant Knows: A Field Guide to the Senses، تأليف <D. شاموڤيتس> وذلك بالتنسيق مع ساينتفيك أمريكان/وآخرين.

(1) أو: براعم
(2) أو: حامُول = جنس من النباتات الطفيلية. (التحرير)





المؤلف

Daniel Chamovitz

مديــر مركز: مانّا لعلوم النبــات الحيوية في جامعة تل أبيب ومؤلف الكتاب القادم ماذا يعلم النبات.

إذا كانت كوسكوتا تسعى بحق نحو رائحة الطماطم، فربما يمكــن لـ<دي مورايس> أن تصنع عطر الطماطم، لترى ما إذا كان الهالوك ســيحاول النمو باتجاه هذا العطر. صنعت <دي مورايس> خلاصة ساق ماء الطماطم ووضعتها على مسحات قطنية ثم وضعت المســحات على عيــدان في أصص بجوار الكوسكوتا. وبالنسبة إلى **الشاهد** control، فقد وضعت بعض المذيبات التي استخدمتها لصنع عطر الطماطم على مسحات قطنية أخرى ووضعت على عيدان بجوار الكوســكوتا أيضا. وكما هو متوقع، فقد خدعت الهالوك بجعله ينمو باتجاه القطن الذي يبث رائحة الطماطم، ظنا منه أنه سيجد الغذاء. ولم ينمُ باتجاه القطن ذي المذيبات.

وإذا خُيِّــر ما بين الطماطم والقمح، فإن الهالوك ســوف يختار الطماطم. فإذا زرعت الهالوك في بقعة متساوية المسافة بــين أصيصين أحدهما يحوي قمحــا والآخر يحوي طماطم، فإن الهالوك يتجه نحو الطماطم.

وعلى المستوى الكيميائي البحت، فإن ماء الطماطم وماء القمح متماثلان إلى حد ما. فكلاهما يحوي **بيتا-ميرســين** beta-myrcene، وهو مركب طيّــار (واحد من مئات الروائح الكيميائيــة الفريــدة المعروفــة) يمكنــه بمفــرده أن يَحثّ كوســكوتا علــى أن تنمو باتجاهه. فلمــاذا التفضيل إذن؟ إحدى الفرضيات الواضحة هي تعقيد **الشذا**[1]. إضافة إلى إطلاقه للبيتا-ميرسين، فإن الطماطم تطلق مادتين كيميائيتين طيارتــين أخريين، صانعــة عبيرا لا يقــاوم إجمالا ليجذب الهالوك. ومن ناحية أخرى، يحوي القمح رائحة واحدة فقط منهما جاذبة للهالوك البيتا-ميرســين، والأكثر من ذلك، أن القمــح لا يَصْنَعُ الأقلَّ من الجاذبات وحســب ولكنه يَصْنَعُ أيضا **(Z)-3-هيكســينيل أســيتات** (Z)-3-Hexenyl acetate الذي ينفرّ الهالوك أكثر من جذب البيتا-ميرســين له. وفي الواقع، فإن الكوســكوتا ينمو بعيدا عن (Z)-3-هيكســينيل أسيتات إذ يجد ببساطة أن القمح منفر له.



عبير قاتل

بعد أن يشم طريقه إلى المضيف المناسب، تَلُفُّ كرمة الهالوك الطفيلية نفسها حول نبات الطماطم، ممتصة منه العصائر الحيوية (المهمة).

تَنَصُّت الأوراق(*)

في عام 1983، نشر فريقان من العلماء مكتشفات مدهشة تتعلق بالتواصل بين النباتات أحدثت ثورة في فهمنا لكل شيء بدءا من شــجرة الصفصاف وحتى **الفاصوليــاء البيضاء** lima bean. فقد ادعى هؤلاء العلماء أن الأشجار تحذر بعضها بعضا من هجمة وشــيكة لحشــرة آكلة للورق. وقد انتشرت ســريعا أخبار ما توصلوا إليه في الثقافة الشعبية، مع فكرة «**الأشجار الناطقة**» talking trees التي لم تُعرض على صفحات المجلات العلمية وحســب وإنما أيضا على صفحات المجلات السائدة عالميا.

وقد لاحظ <D. روادیــس> و<G. أوريانز> [وهما عالمان في جامعة واشــنطن] أن يرقات الفراش (اليســاريع) كانت أقل احتمالا لأن تغزو أوراق أشــجار الصفصاف، إذا كانت هذه الأشــجار مجاورة لأشجار صفصاف أخرى أصيبت مسبقا

(*) (L)EAVESDROPPING
(١) the bouquet

باختصار

تطلــق النباتــات باقــة من الروائح فـــي الهواء حولها. لم يزل علماء البيولوجيا يؤكدون أن النباتات تستجيب الواحدة منها لعطور الأخرى.

تستعد بعض النباتات لمعركة عندمــا تشــم رائحــة نباتات مجاورة مصابــة، في حين أن عريشــة هالوك طفيلي تتعرف بالشم المضيّفات السليمة.

باليرقات المقيمة فيها. وكانت الأشجار السليمة النامية بقرب الأشجار المصابة مقاومة ليرقات الفراش لأن - كما اكتشف ‹رواديس› - أوراق الأشجار المقاومة - ولكن ليس تلك **القابلة للتأثُّر** susceptible والمعزولة عن الأشـــجار المصابة - حَوَتْ مركبات **الفينــول** phenolic و**التانـــين** tannin الكيميائية التي جعلتها غير مستســاغة للحشــرات. ولأن العلماء لم يتمكنوا من كشــف أي اتصالات فيزيائية ما بين الأشـــجار المصابة وجاراتها الســـليمة - حيث لم تتشاطر جذورا مشتركة، ولم تتلامــس أغصانها - فقــد اقترح ‹رواديس› أن الأشـــجار المهاجَمة لا بد أن أرســلت رســالة **فيرومونية** pheromonal منقولة جوا إلى الأشجار الســـليمة. وبعبارة أخرى، أرسلت الأشـــجار المصابة إشـــارةً (إنذارًا) إلى الأشـــجار السليمة المجاورة، «تنبهي! دافعي عن نفسك!»

ولـــم تكد تمر ثلاثة أشـــهر حتى نشـــر ‹I. بالدوين› و‹J. شـــلتز› [الباحثـــان في كلية دارتمـــوث] بحثا واعدا أيد تقرير ‹رواديس›. وقاما بدراسة بادرات الحور وسكر القيقب (البالغة نحو قدم واحد طولا) النامية في أقفاص البليكســـي الزجاجية المحكمة الإغلاق. وقد استعملا قفصين لتجربتهما. الأول حوى جمهرتين من الأشـــجار: 15 شجرة حوت ورقتين مشـــقوقتين بالمنتصف و 15 شـــجرة غيـــر مصابة. والقفص الثاني حوى الأشـــجار الشـــاهدة والتي كانـــت بالطبع غير مصابة. وبعد يومين أصبحت الأوراق المتبقية في الأشـــجار المصابة تحوي مســـتويات مرتفعة لعـــدد من المواد الكيميائية المعروفة بتثبيطها لنمو اليرقات. ولم تُبْدِ الأشجار في الشاهد زيادات في أي من تلك المركبات. فافترض ‹بالدوين› و‹شلتز› أن الأوراق المصابة - ســـواء بتمزيقهـــا كما في اختباراتهما أو بأكل الحشـــرات كما في ملاحظات ‹رواديس› لأشـــجار الصفصاف - قد أطلقت إشارة غازيّة مكنت الأشجار المصابة من التواصل مع الأخريـــات غير المصابة، مما أدى بالأخيرة إلى الدفاع عن نفسها ضد هجوم حشري وشيك.

وكثيـــرا ما كانت هذه التقارير الباكـــرة عن النبات المحذر، ترفض من قبل أفراد آخرين في الوســـط العلمي على أســـاس أنها تفتقر إلى الشواهد الصحيحة أو أنها ذات نتائج صحيحة ولكنها مبالغ في تفســـيرها. إلا أنه خلال العقد المنصرم أخذت ظاهـــرة تواصل النبات عبر الرائحة تُبْـــرَزُ مرارا وتكرارا لعدد كبير من النباتات، بمـــا فيها **الشـــعير** barely و**أجمة المَرْيمية** sagebrush و**جار الماء** alder. وفي حين أن ظاهرة النباتات المتأثرة بجاراتها من خلال إشارات (تنبيهات كيميائية) منقولة جوا هي الآن نموذج علمي مقبول، يبقى الســـؤال: هل تتواصل النباتات فعلا الواحدة مع الأخرى (وبعبـــارة أخرى، التحذير عمدا من خطر داهم)، أم أن النباتات السليمة تَسْتَرِقُ السمع فقط لمناجاة النباتات المصابة لنفسها، والتي لم تقصد أن تُسمع؟

ولايزال ‹M. هيل› وفريقه [في مركز الأبحاث والدراسات المتطـــورة فـــي أيرابواتـــو Irapuato، ميكســـيكو] يدرســـون الفاصولياء البيضاء البرية خلال السنوات العديدة المنصرمة كي يتحروا أكثر عن هذا السؤال. وقد عرف ‹هيل› أن العلماء كانـــوا قد لاحظوا أنه عندما تـــؤكل فاصولياء بيضاء من قبل الخنافـــس، فإن هذه الفاصولياء تردُّ بطريقتين: تُطلق الأوراق التـــي لا تـــزال تؤكل من قبل الحشـــرات، مزيجـــا من المواد الكيميائيـــة الطيارة في الهواء، وتنتج الأزهار (على الرغم من أنها غير مهاجمة بشـــكل مباشـــر من قبل الخنافس) رحيقا يجـــذب **المفصليات آكلـة الخنافس**[1]. وفـــي وقت مبكر من حياته المهنية في مطلع الألفية الثالثة، كان ‹هيل› قد عمل في معهـــد ماكس پلانك **لعلم كيمياء البيئـــة** Chemical Ecology فـــي جينا Jena بألمانيا، في ذات المعهـــد حيث كان ‹بالدوين› (ومازال) مديرا فيـــه؛ ومثل ‹بالدوين›، تســـاءل ‹هيل› لماذا كانت الفاصولياء البيضاء تطلق هذه المواد الكيميائية.

وضـــع ‹هيل› وزملاؤه نباتات الفاصولياء التي كانت قد هوجمت من قبل الخنافس بجوار نباتات كانت قد عُزِلت عن الخنافس وراقبوا الهواء حـــول مختلف الأوراق. واختاروا مجموعـــة من أربع أوراق من ثلاث نباتات مختلفة: اختاروا ورقتين من نبتة واحدة كانت قد هوجمت من قبل الخنافس، ورقة كانت قد أُكِلت وأخرى لم تؤكل؛ وورقة من نبتة مجاورة ولكنها «**غيـــر مصابـــة**» uninfested؛ وورقة من نبتة كان قد تم الحفـــاظ عليهـــا معزولة عن أي تماس مـــع الخنافس أو النباتات المصابـــة. وقد حدَّدوا المواد الكيميائية الطيارة في الهـــواء المحيط بكل ورقة باســـتعمال تقنيـــة متطورة تعرف باســـم **كروماتوگرافيا الطور الغـــازي** chromatography/ **قيـــاس طيـــف الكتلـــة** mass spectrometry (كثيرا ما أبرزَت في المسلســـل التلفزيوني CSI واستعملت من قبل شركات

(1) beetle-eating arthropods

العطور عند قيامها بتطوير عطر جديد).

لقد وجد ‹هيل› أن الهواء المنطلق من الأوراق المصابة والسليمة في النبتة نفسها يحتوي على مواد طيارة متطابقة في الأساس، في حين أن الهواء المحيط بالورقة الشاهدة كان خاليا من هذه الغازات. إضافة إلى ذلك، فإن الهواء المحيط بالأوراق السليمة من الفاصولياء البيضاء المجاورة للنباتات المصابة بالخنافس يحتوي أيضا على المواد الكيميائية الطيارة، كما هي الحال في النباتات المصابة المرصودة. وكانت النباتات السليمة كذلك أقل احتمالا لأن تؤكل من قبل الخنافس.

ولكن ‹هيل› لم يكن مقتنعا بأن النباتات المعطوبة «**تُكَلِّم**» talk النباتات الأخرى لتحذرها من هجوم وشيك. فاقترح أو رجّح أنه لا بد أن يمارس النبات المجاور نوعا من التنصت الشمِّي على إشارة داخلية مُوجَّهة في الواقع إلى الأوراق الأخرى في النبات نفسه.

وقد عدّل ‹هيل› نظامه التجريبي بطريقة بسيطة – ولو أنها مبتكرة – ليختبر فرضيته. فأبقى النبتتين بجوار بعضهما، ولكنه وضع الأوراق المُهاجَمة في أكياس بلاستيكية لمدة 24 ساعة. وعندما تَفَحَّص الأنماط الأربعة نفسها من الأوراق كما في التجربة الأولى كانت النتائج مختلفة. ففي حين استمرت الورقة المُهاجَمة بإطلاق المادة الكيميائية نفسها، كما فعلت من قبل، فإن الأوراق الأخرى في الكرمة نفسها والكرمات المجاورة حاكت الآن النبات الشاهد؛ وكان الهواء المحيط بالأوراق خاليا.

فتح ‹هيل› وفريقه الكيسَ حول الورقة المهاجَمة، وبمساعدة مروحة صغيرة تستعمل عادة في **الشيبات الميكروية** tiny microchips لتساعد على تبريد الحواسيب، فقد وجهوا الهواء في أحد اتجاهين: إما باتجاه الأوراق المجاورة لأبعد ما يصل إليه أو بعيدا عن الكرمة وإلى الخلاء. وقد تفحّصوا الغازات الخارجة من الأوراق أعلى مستوى الساق وقاسوا كم من الرحيق أنتج. وبدأت الأوراق الواقعة في مهب الهواء القادم من الورقة المُهاجمة بإطلاق الغازات نفسها، وأنتجت أيضا رحيقا. في حين أن الأوراق التي لم تكن معرّضة للهواء من الورقة المهاجَمة بقيت على حالها.

وكانت النتائج ذات أهمية بالغة لأنها كشفت أن الغازات المنطلقة من الورقة المهاجَمة ضرورية للنبتة نفسها حتى تحمي أوراقها الأخرى من هجمات مستقبلية. وبعبارة أخرى، عندما تُهاجَم ورقة من قبل حشرة أو جراثيم، فإنها تُطلق روائح تُحذِّر أخواتها من الأوراق لتدافع عن نفسها من هجوم وشيك. وهي بذلك تشبه حرس الأبراج في سور الصين العظيم الذي يشعل النيران ليحذر من اعتداء قريب.

إذا مُنِحَ الهالوكُ الخيارَ ما بين الطماطم والقمح، فإنه سوف يختار الطماطم.

والنبات المجاور يتنصت على محادثة شمية قريبة، التي تعطيه معلومات أساسية تساعده ليحمي نفسه. وفي الطبيعة، تستمر هذه الإشارة الشمية على الأقل لعدة أقدام (إشارات طيارة مختلفة، بحسب خصائصها الكيميائية، تسير لمسافات أقصر أو أكثر طولا). وبالنسبة إلى الفاصولياء البيضاء، التي يبدو أنها تستمتع بشكل طبيعي بالازدحام، فهذا أكثر من كاف ليضمن أنه إذا كانت نبتة ما في مشكلة، فإن جاراتها سوف تعلم ذلك.

هل تَشُمُّ النباتات؟[*]

تطلق النباتات باقة بسيطة من الروائح. تَخيَّل أريج الورود عندما تسير في طريق حديقة أيام الصيف، أو عشب مقطوع حديثا أواخر الربيع، أو ياسمين متفتح في الليل. ودون أن ننظر، فإننا نعرف متى تكون ثمرة جاهزة للأكل، ولا يمكن لزائر حديقة نباتية أن يكون غافلا عن الرائحة الكريهة لأكبر زهرة (وأسوئها رائحة) في العالم، **الأمورفوفالس تيتانيوم** Amorphophallus titanum، والمعروفة أكثر بزهرة الجيفة. (ولحسن الحظ، فإنها تتفتح مرة واحدة فقط كل بضع سنوات).

والعديد من هذه الروائح العطرية مستخدم في تواصل معقد ما بين النباتات والحيوانات. وهذه الروائح تُغري مختلف **المؤبِّرات**[1] (الملقحات) لتزور الأزهار وناشرات البذور لتَزور الثمار، وكما يشير الكاتب ‹M. بولان› فإن بإمكان هذه العطور أن تُغري الناس لينشروا الأزهار حول العالم كله. ولكن النباتات لا تطلق الروائح وحسب – كما رأينا – إنها بلا شك تَشُمُّ النباتات الأخرى.

ومن الواضح، أن النباتات لا تمتلك أعصابا شمِّية ترتبط بدماغ يفسر الإشارات. ولكن الهالوك كوسكوتا، ونباتات ‹هيل› وفريقه ونباتات أخرى حول عالمنا الطبيعي تستجيب للفيرومونات، كما نفعل تماما. وتَكْشف النباتات مواد كيميائية طيارة في الهواء، وتحول هذه الإشارة – ولو أنها من دون عصب – إلى استجابة فيزيولوجية. وبالتأكيد يمكن أن يعد ذلك شَمّا. ■

(*) DO PLANTS SMELL?

(1) pollinators

Scientific American, May 2012

صدّ هجوم ڤيروس العوز المناعي البشري (HIV)(*)

تمكّن علماء من تخليص رجل واحد من الڤيروس HIV بمنع هذا الڤيروس من دخول خلايا مناعية محددة. ولكن المعالجة كانت خطيرة، وعلى الأرجح لا يمكن تكرارها. فهل بإمكان هؤلاء العلماء التوصل إلى وسيلة أكثر أمانا يمكن تطبيقها على نطاق واسع لمساعدة ملايين المرضى غيره؟

‹C. جون› – ‹B. ليڤاين›

قبل أكثر من ثلاث سنوات بقليل، نشر فريق طبي من برلين نتائج تجربة فريدة من نوعها، أدهشت باحثي ڤيروس العوز المناعي البشري (HIV). وكان الفريق الألماني قد أخذ عينة من نخاع (نقيّ) العظم – وهو مصدر الخلايا المناعية في الجسم – من متبرع مجهول مَنَحه ميراثه (أو ميراثها) الجيني مقاومة طبيعية للڤيروس HIV. وبعد ذلك، قام الباحثون بزرع تلك الخلايا في رجل يعاني ابيضاض الدم (اللوكيميا)، والذي كان إيجابيا للڤيروس HIV لأكثر من عشر سنوات. ومع أن علاج ابيضاض الدم لدى المريض كان يمثل الدافع الأساسي للمعالجة بزرع نقي العظم، لكن المجموعة أملت أيضا بأن توفر عملية الزرع ما يكفي من الخلايا المقاومة للڤيروس HIV لمكافحة عدوى الڤيروس في هذا الرجل. بيد أن المعالجة تجاوزت توقعات الفريق: فبدلا من مجرد تقليل كمية الڤيروس HIV في دم المريض، أدت عملية الزرع إلى محو جميع آثار الڤيروس التي يمكن اكتشافها من جسمه، بما في ذلك آثاره في العديد من الأنسجة التي قد يقبع كامنا فيها. وقد أذهلت تلك النتائج الإيجابية الباحثين الألمان لدرجة أنهم انتظروا ما يقرب من عامين قبل نشر النتائج التي توصلوا إليها.

لقد بَدَت الأخبار أفضل مما يمكن تصديقه. ومع ذلك، فبعد خمس سنوات من خضوعه للمعالجة الأولية، كان من أُطلق عليه اسم مريض برلين (والذي تم الإعلان في وقت لاحق عن أنه ‹R. T. براون› من ولاية كاليفورنيا) مازال لا يُظهِر أية علامات على الإصابة بڤيروس الإيدز – مع أنه لم يتناول طوال تلك الفترة الأدوية المكافحة للڤيروس HIV، وهي **مضادات الڤيروسات القهقرية** antiretroviral drugs. ومن بين أكثر من 60 مليون شخص أصيبوا بعدوى الڤيروس HIV على مدى العقود القليلة الماضية، يبدو أن ‹براون› هو الشخص الوحيد – حتى الآن – الذي تخلّص من هذه العدوى بصورة موثقة جيدا.

بيد أنه لا يمكن تطبيق هذه المقاربة على نطاق واسع لأسباب متعددة، ليس أقلها أن الجهاز المناعي للمريض نفسه يتعين تدميره كخطوة أولى – وهي عملية بالغة الخطورة. ولكن

(*) BLOCKING HIV'S ATTACK

باختصار

يستغل الڤيروس HIV بروتينا معينا يدعى CCR5، حيث يوجد على سطح بعض الخلايا المناعية، وذلك ليصيب تلك الخلايا بعدواه.

وبعض الأشخاص يرثون طفرة معينة تعطّل النسخ الموجودة في أجسادهم من البروتين CCR5، مما يمنحهم قدرا أكبر من الوقاية ضد عدوى الڤيروس HIV.

يقوم الباحثون بإجراء تجارب على تقنيات تحوير الجينات لتعديل الخلايا المناعية بحيث تفتقر إلى البروتين CCR5، مما يجعلها أيضا مقاومة للڤيروس HIV.

وتتسم النتائج الأولية للدراسات المتعلقة بمقاربة تحوير الجينات في البشر بكونها مشجعة، ولكن لا يزال هناك طريق طويل يتعين قطعه.



أحجية ممزقة: عادة ما يلتصق ڤيروس العوز المناعي البشري (HIV) (القطع الحمراء في هذا الرسم المفاهيمي) بالاستطالات البروتينية الموجودة على الخلايا المناعية (القطع البيضاء). وعن طريق إزالة هذه الاستطالات، يأمل العلماء بجعل الخلايا المناعية مقاومة للڤيروس HIV.

هذا النجاح غير المتوقع ألهم الباحثين في جميع أنحاء العالم للبحث فيما إذا كان من الممكن إيجاد سبل أكثر أمانا وأقل تكلفة لتزويد المرضى بأجهزة مناعية جديدة مقاومة للڤيروس HIV، مثل ذلك الذي تلقّاه ‹براون›. ومن شأن هذا العمل الفذ أن يسمح للأطباء في المقام الأول بإغلاق الباب في وجه الڤيروس HIV، بحيث لا يعود بإمكانه الانتقال من خلية إلى أخرى داخل الجسم. وفي نهاية المطاف، من المرجح أيضا أن يتمكن الجهاز المناعي المعدّل من القضاء على أية كمية متبقية من الڤيروس HIV، والتي قد تكون مختبئة في أماكن مختلفة من الجسم. وبدلا من السير على خطى العلاجات السابقة التي تكبت الڤيروس فحسب، فإن مقاربة جديدة تُحاكي علاج برلين – في حال نجاحها – من شأنها القضاء على الڤيروس وربما شفاء المريض.

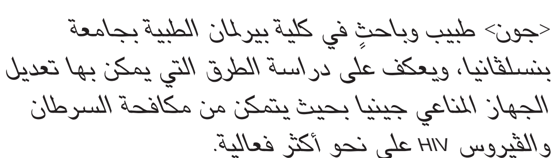
في الواقع، نحن نعتقد (كلانا) وكذلك زملاؤنا أنه قد تكون أمامنا وسيلة أسهل لمنح مرضى الڤيروس HIV أجهزة مناعية مثل ذلك المستبطن للمعالجة الناجحة لمريض برلين. وقد أظهر هذا الإجراء نتائج واعدة في المختبر، ونحن نقوم حاليا بإجراء تجارب سريرية مبكرة على عدد قليل من الأشخاص المصابين بعدوى الڤيروس. وأمامنا الكثير من العمل لننجزه، وعلى الرغم من أنه لا يمكن التأكد من أن هذا العلاج سيكون فعالا، إلا أن استمرار خلو مريض برلين من الڤيروس HIV والنتائج الأولية لأبحاثنا تُشعرنا بأن المعالجة التي نعمل على تطويرها من الممكن أن تغيّر اليوم حياة الملايين من الأشخاص المصابين بالڤيروس HIV.

ضبط الجهاز المناعي(*)

تعتمد مقاربتنا لهندسة الجهاز المناعي لمحاربة الڤيروس HIV على الأبحاث التي تتناول اثنين من التحديات ذات الصلة. يحتاج العلماء إلى معرفة كيفية الشحن الفائق للجهاز المناعي ضد الڤيروس HIV، كما يحتاجون إلى وسيلة لمنع الڤيروس HIV من دخول الخلايا المحبّذة لديه، وهي الخلايا +CD4،

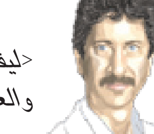
(*) FINE-TUNING THE IMMUNE SYSTEM

المؤلفان



Carl June

<جون> طبيب وباحثٌ في كلية بيرلمان الطبية بجامعة بنسلڤانيا، ويعكف على دراسة الطرق التي يمكن بها تعديل الجهاز المناعي جينيا بحيث يتمكن من مكافحة السرطان والڤيروس HIV على نحو أكثر فعالية.



Bruce Levine

<ليڤاين> باحث في علم المناعة واختصاصي دراسة الخلية والعلاج الجيني في كلية بيرلمان الطبية بجامعة بنسلڤانيا، حيث كان مديرَ وحدةِ الخلية السريرية ومرفق إنتاج اللقاحات.

والمعروفة أيضا باسم **الخلايا التائية المساعِدة**[1]. وتعمل هذه الخلايا التائية على وجه الخصوص على توجيه الاستجابة المناعية من خلال التنسيق والتفاعل بين العديد من الأنواع المختلفة من الخلايا المناعية. عندما يصيب الڤيروس HIV الخلايا التائية المساعدة لأول مرة، فإن الڤيروس لا يُسبب أي ضرر حقيقي. ومن ثم في وقت لاحق، عندما يتم تفعيل الخلايا المناعية لمكافحة العدوى المستمرة، فإنها تقوم بدلا من ذلك بقذف المزيد من نسخ الڤيروس HIV. والمؤسف أكثر أن الڤيروس HIV يقوم في نهاية المطاف بقتل هذه الخلايا التنسيقية بدورها، مما يستنزف قدرة الجهاز المناعي على مكافحة العديد من العداوى الأخرى. وبهذه الطريقة، يقوم الڤيروس HIV بشكل انتقائي بالقضاء على أفضل لاعبي الجهاز المناعي تدريبا. ولذلك، فمع تناقص أعدادها، تتدهور أيضا قدرة الجسم على مكافحة العدوى حتى تقع الإصابة بالإيدز - المرحلة الانتهائية التي تتسم بالعداوى المميتة.

لم تكن معرفة كيفية تعزيز الجهاز المناعي - ناهيك عن حماية الخلايا التائية المساعدة - بالمهمة السهلة. وعلى أية حال، فعندما تم الإعلان عن أخبار مريض برلين، كان قد جرى بالفعل إحراز تقدم على جبهتين، وإن كان ذلك قد تم عبر قناتين بحثيتين مختلفتين.

طوال سنوات، قام العلماء الذين يدرسون السرطان، فضلا عن أولئك الذين يبحثون في الالتهابات الڤيروسية، بالبحث عن سبل لتعزيز قدرة الجهاز المناعي - مثل أخذ الخلايا التائية من أحد المرضى، وتعريضها لمواد تجعلها تتضاعف وتصبح أكثر فعالية ضد السرطان أو الالتهابات الڤيروسية، ومن ثم إعادة تلك الخلايا المدعمة إلى جسم المريض. وقد انضم كلانا إلى هذه الجهود منذ عشرين عاما، عندما جاء <ليڤاين> للعمل مع <جون> فيما يسمى الآن مركز والتر ريد الطبي العسكري الوطني في بيثيسدا بولاية ماريلاند. واستنادا إلى أبحاث علماء آخرين - لا سيما <Ph. گرينبرگ> و<S. ريدل> من مركز فريد هاتشينسون لأبحاث السرطان في سياتل و<M. برينر> و<C. روني>، اللذان يعملان حاليا في كلية بايلور الطبية في هيوستن - بدأنا تجاربنا لتحسين أساليب زراعة الخلايا التائية خارج الجسم. وفي ذلك الوقت، لم يكن بالإمكان زرع الخلايا التائية من المتبرع في المختبر إلا باستخدام خلائط معقدة من المراسيل الكيميائية أو عن طريق استخراج نوع آخر من الخلايا من دم المتبرع، يُطلق عليها اسم **الخلايا التغصُّنية**[2] dendritic cells، والتي تقوم عادة بتوجيه الخلايا التائية لأن تنضج وتتكاثر بأعداد كبيرة.

لقد كنا نظن أننا نستطيع تبسيط العملية عن طريق تكوين خلايا تغصُّنية صنعية. وقد شرعنا في استخدام حبات مغنطيسية بالغة الصغر، تقل في حجمها قليلا عن الخلايا التائية، وربطنا بسطحها اثنين من البروتينات التي تحاكي الجزيئات الموجودة على الخلايا التغصُّنية. وعند مزجها بالخلايا التائية في قوارير المختبر، أثبتت الحبّات أنها فعالة للغاية في تنفيذ المهمة المنوطة بها. وعن طريق تجديد الحبات كل أسبوعين أو نحو ذلك، أمكننا الحفاظ على مستعمرة من الخلايا التائية التي تتضاعف بنجاح لأكثر من شهرين، حيث تضاعفت أعدادها تريليون مرة.

وعندما بدأنا باختبار هذه الطريقة باستخدام عينات الدم المأخوذة من مصابين متطوعين بالڤيروس HIV، اكتشفنا - لدهشتنا الشديدة - أن الخلايا التائية التي أنتجناها قد تطوّرت لديها قدرة معتبرة، وإن كانت مؤقتة، على إيقاف تقدم الڤيروس HIV. وقد نشرنا النتائج التي توصلنا إليها في الشهر 1996/6، وفي ذلك الوقت لم نكن نعرف سبب كون طريقة الحبّات المغنطيسية التي استخدمناها في إنماء الخلايا التائية تعزّز مقاومتها لعدوى الڤيروس HIV. ولكن في وقت لاحق من ذلك العام، ظهر دليل مهم ساعدنا في نهاية المطاف على تفسير ذلك اللغز.

مدخل إلى العدوى[*]

في الوقت نفسه الذي كنا نعمل فيه على تطوير منظومتنا لزرع الخلايا التائية، اكتشف باحثون آخرون وجود خلل أساسي

(*) A DOORWAY TO INFECTION
(١) helper T cells
(٢) أو: المتغصنة.

فــي طريقة الڤيروس HIV في الهجوم. وفي وقت مبكر للغاية مــن بداية وباء الإيدز، تعرّف الباحثون عددا قليلا من الأفراد الذين أظهروا مقاومة عالية للعدوى بالڤيروس HIV، مع أنهم تعرضـــوا للڤيروس مرات متعـــددة. وبحلول نهاية عام 1996، وفي نوبة محمومة من النشر العلمي، ذكرت تقارير العديد من المختبرات أن بروتينا معينا، يعرف باســـم CCR5، يقبع على ســطح الخلايا التائية المســاعدة وخلايا أخرى معينة، يعمل كمدخل (بوابة) يســمح للڤيروس HIV بالدخول. وإضافة إلى ذلك، أظهر الباحثون أن الأشخاص الذين يفتقرون طبيعيا إلى هذا البروتين لا يصابون بالعدوى [انظر: «البحث عن الجينات المقاومة للإيدز»، **العلوم**، العدد 12(1997)، ص 14].

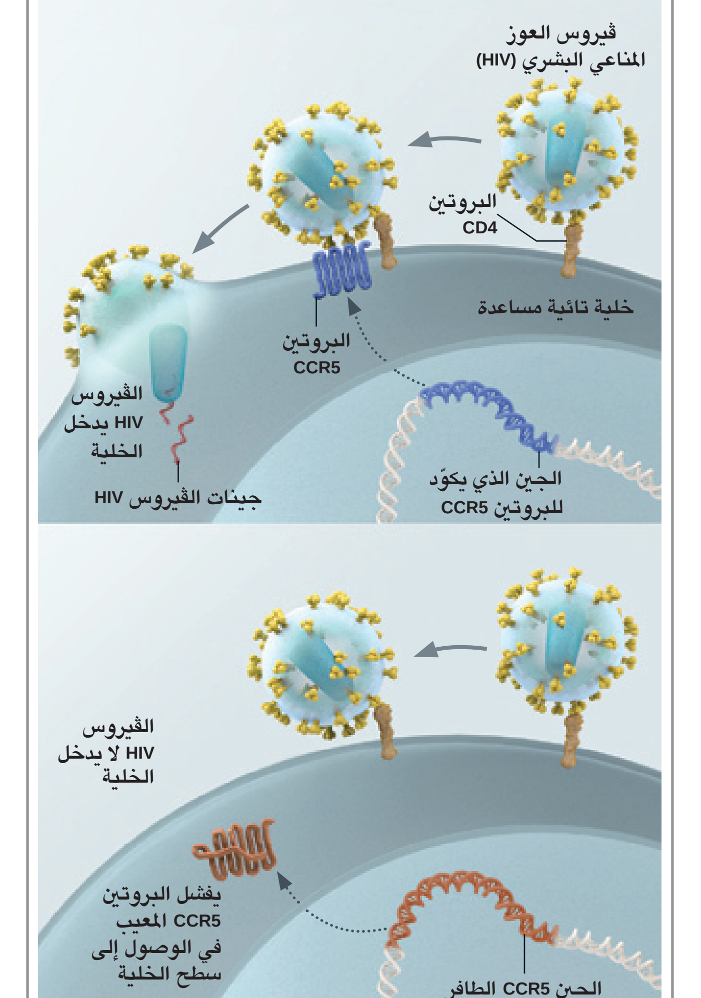
يــنتج عـــدم وجود هذا المدخل من **حذف**[1] 32 نيوكليوتيدا (الحـــروف A، T، C و G من أبجدية **الدنا** DNA) في الجين الذي **يكوّد**[2] لبروتين ســطح الخلية. ويؤدي هذا الحذف إلى وجود نســـخة أقصـــر من البروتـــين CCR5، والتي لا يمكنها اتخاذ طريقها إلى ســـطح الخلية. وقـــد ورث نحو 1 في المئة من القوقازيين نســـختين من هذا الجـــين المعيب (الذي أطلق عليـــه اســـم CCR5-Delta 32) ممـــا يجعل خلاياهم شـــديدة المقاومة للعدوى بالڤيروس HIV. وهذه الطفرة نادرة الحدوث في الهنود الحمر (الســـكان الأمريكيين الأوائل) والآسيويين والأفارقـــة. وبغض النظـــر عن خصوصيتهـــم الجينية، يبدو الأفراد المتضررون أصحاء، مع أنهم قد يكونون أكثر عرضة للإصابة **بڤيروس غرب النيل**[3].

أما الأشـــخاص الذين ورثوا نسخة واحدة فقط من الجين CCR5-Delta 32 فيبقـــون عرضة للإصابـــة بالڤيروس HIV؛ ولكنهم يستغرقون وقتا أطول في المتوسط للانتقال من الإصابة الأولية إلـــى المراحل اللاحقة من المرض. وقد أظهر الباحثون أن المراسيل الكيميائية الطبيعية التي يطلق عليها اسم **البيتا كيموكينات**[4] يمكنها إحصار المســـتقبلات الطبيعية للبروتين CCR5 – ممـــا يجعلها غير متاحة للڤيروس HIV. بالطبع، إن إحصار المستقبلة CCR5 يمثل الأساس لفئة كاملة من الأدوية المضادة للڤيروس HIV. ولســـوء الحظ، فمن الصعب الحفاظ على جميع المستقبلات CCR5 في جميع الخلايا التي تحملها مغلّقة باســـتمرار بما يكفي من الدواء لمنع الڤيروس HIV من الدخـــول إلى أي منها. إضافة إلى ذلك، فمن الممكن للڤيروس HIV أن يتحـــور لتفادي الإحصار، كما أن هذه الڤيروســـات المتحوّرة قليلا مازال بإمكانها اســـتخدام مدخل المســـتقبلة CCR5 للولوج إلى الخلايا التائية.

رفض الدخول

كيف يدخل الڤيروس HIV إلى الخلية المناعية(*)

يقـوم الڤيـروس HIV بتدمير الجهاز المناعي من خلال اسـتهداف خلايا حيويـة تُدعى الخلايا التائية المساعدة[5]. وفي تسعينات القرن العشرين (1990)، علِم الباحثون أن الڤيروس HIV يدلف إلى تلك الخلايا عن طريق الإقفال على بروتين موجود على سـطح الخلية، والذي يطلق عليه اسـم CCR5 (اللوحة العلوية). ومع ذلك، فثمة عدد قليل من الأشخاص الذين يمكنهـم تحمّـل عدوى الڤيروس HIV لأنهم يفتقرون إلى جين فعّال يكوّد للبروتـين CCR5. ويأمـل الباحثون بـأن تعطيل الجـين CCR5 (اللوحة السـفلية) فـي الأفـراد المصابـين بالڤيـروس HIV قد يتيح لهم سـيطرة أفضل على العدوى، وربما الشفاء منها كلية.



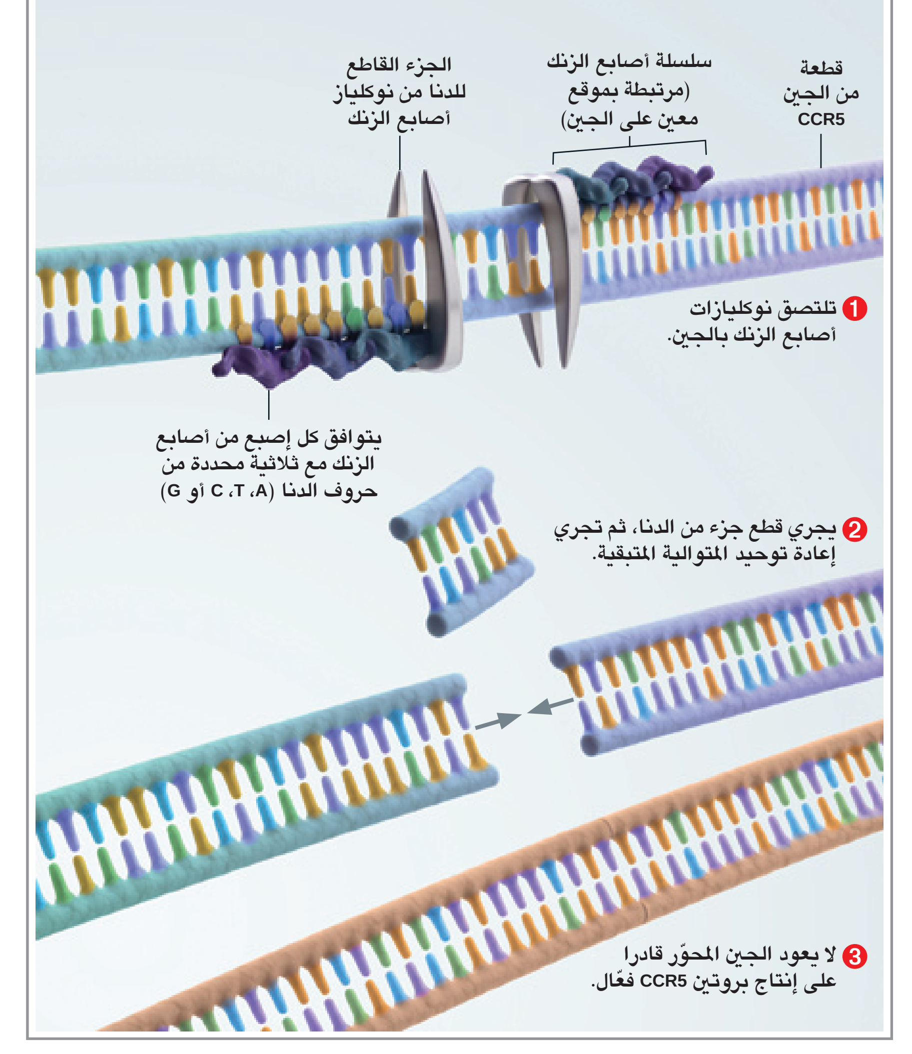
لقد ســاعد اكتشـــاف دور CCR5 في عـــدوى الڤيروس HIV على تفســـير سبب كون خلايانا التائية التي تم إنماؤها اصطناعيا مقاومَة للڤيروس. إن تفعيل الخلايا التائية بواسطة

(*) How HIV Enters an Immune Cell
(1) deletion أو: خَبْن.
(2) code: صاغ رسالة بالرموز والإشارات.
(3) West Nile Virus
(4) beta-chemokines
(5) helper T cell

تقطيع وتضفير

التحوير الدقيق يعطل جينا رئيسيا(*)

قد يكون ممكنا منح المقاومة للفيروس HIV في بعض الأفراد عن طريق تعطيل الجين الذي يكوّد لمدخل المستقبلات CCR5 عن طريق بروتين مركّب يدعى نوكليازات أصابع الزنك[١]. يقوم أحد أجزاء هذا البروتين، والذي يتكون من جزيئات تدعى أصابع الزنك[٢]، بالالتصاق بهذا الجين، في حين يقوم الجزء الثاني، ويدعى النوكلياز[٣]، بقص شريط الدنا. وبعد ذلك، تتولى المسؤولية آليات الإصلاح الخاصة بالجسم، عن طريق لصق الأجزاء الطويلة معا. النتيجة: لا يعود الجين المعطوب قادرا على إنتاج البروتين CCR5 الذي يستخدمه الفيروس HIV للدخول إلى الخلايا المناعية.



الحبّات تسبّب، بطريقة أو بأخرى، في إيقاف إنتاج الخلايا للبروتينات CCR5. ومن دون مدخل فعّال، يعجز الفيروس HIV عن دخول الخلايا.

وعند هذه النقطة، تساءلنا عما إذا كان بوسعنا استخدام اكتشاف البروتين CCR5، جنبا إلى جنب مع أسلوبنا الذي طوّرناه حديثا لإنماء الخلايا التائية، في تطوير علاج فريد للفيروس HIV. أدت هذه الفكرة إلى التعاون مع <K. هيگ> و<D. أندو>، وكل منهما كان يعمل وقتها في شركة التقانة الحيوية Cell Genesys التي تتخذ من سان فرانسيسكو مقرا لها، من أجل القيام بخطوة مبكرة: إجراء تجارب سريرية على البشر للتأكد من مأمونية الخلايا التائية التي جرى تعديلها جينيا لاكتشاف ومهاجمة الخلايا المصابة بعدوى الفيروس HIV – أي الخلايا التائية التي تم تضخيمها باستخدام تقنية الحبات المغنطيسية التي قمنا بتطويرها. وقد ثبت أن هذه الخلايا مأمونة تماما، وظلت حية لسنوات بعد تسريبها. بيد أن التعديل الجيني المحدّد الذي قمنا بدراسته لم يكن له سوى أثر متواضع على تنسّخ الفيروس HIV في المرضى. وفي نهاية المطاف، أوقفت الشركة Cell Genesys هذه الأبحاث.

هندسة خلية مقاومة للفيروس HIV(**)

بحلول عام 2004، وبعد سنوات قليلة من انتقالنا إلى جامعة بنسلڤانيا، جاء <أندو> لزيارتنا في مقر عملنا الجديد ومن ثم عرض علينا إجراء تجربة ثانية. كان مسؤول عمله الجديد، في الشركة Sangamo Bio-Sciences، قد طوّر مؤخرا تقنية لقطع **طيقان دنا** DNA strands لجينات محددة في أماكن مختارة بعناية. وكانت هذه الطريقة تختلف بصورة جوهرية عن الطرق الأخرى وتفوقها فعالية بكثير لأنها كانت قادرة على استهداف متوالية جينية محددة لتعديلها. لم يكن الباحثون في السابق يمتلكون أية وسيلة جيدة للتحكم في تحديد الجينات، أو مقاطع الجينات، التي يتم تغييرها.

إن تقانة الشركة Sangamo التي كان <أندو> يتحدث عنها، تعتمد على نوعين من البروتينات **لحذف**[٤] مقطع من جين موجود بالفعل. النوع الأول هو **بروتينات أصابع الزنك** zinc finger proteins، وهي جزيئات توجد طبيعيا وترتبط الدنا

(*) Careful Editing Disables a Key Gene
(**) ENGINEERING AN HIV-RESISTANT CELL
(١) zinc finger nucleases
(٢) zinc fingers
(٣) nuclease
(٤) delete: حذَفَ، deletion: حَذْف (خَبْن).

خلال الانتساخ الجيني، وهي العملية التي يتم فيها تحويل المعلومات المتضمنة في جزيء الدنا إلى جزيء **الرنا** RNA اللازم لتكوين بروتين **مكوّد**[1]. والبشر ينتجون ما يقرب من 2500 نوع مختلف من بروتينات أصابع الزنك، يرتبط كل واحد منها بمتوالية نوكليوتيدية مختلفة ومحدّدة على جزيء الدنا.

على مدى سنوات عديدة، قام العلماء بتطوير وسيلة لتصميم وبناء بروتينات إصبع الزنك اصطناعيا، بحيث يمكنها أن تحط على أية متوالية للدنا ذات اهتمام خاص – مثل مقطع من الجين CCR5، على سبيل المثال. وقد عرض ‹أندو› أن تقوم الشركة Sangamo بصنع مجموعة متخصصة من مقصات الدنا: أولا بتصنيع بروتينات إصبع الزنك التي تلتصق بطرفي السلسلة التي نريد حذفها. وبعد ذلك، وبالنسبة إلى كل من هذه البروتينات، يقوم علماء الشركة بإضافة بروتين ثان، هو إنزيم يدعى **نوكلياز** nuclease، يمكنه قطع طيقان الدنا إلى نصفين. ويقوم الجزء الخاص بإصبع الزنك من هذا المعقّد بتحديد أجزاء الدنا التي سيتم قطعها، في حين يقوم النوكلياز بقص المادة الجينية. ومن خلال تطوير الأزواج الصحيحة من أصابع الزنك، أمكن للشركة Sangamo أن تستهدف فقط ذلك الجزء المحدّد من الجين CCR5 الذي كنا مهتمين به، من دون الإضرار بجينات أخرى بطريق الخطأ.

وبمجرد أن ترتبط نوكليازات إصبع الزنك المخصّصة هذه بمتوالية الدنا قيد البحث، تقوم آلية الإصلاح الخاصة بالخلية بتولي المسؤولية. ومن شأن هذه الآلية تعرف موضع القطع ومن ثم إعادة ضَم أجزاء الدنا المقطوعة مع حذف عدد قليل من النيوكليوتيدات أو إضافة بعضها خلال هذه العملية. ومن ثم، فإن عملية الإصلاح في حد ذاتها تساعد أيضا على ضمان أن الجين المشقوق لن يكون قادرا على إنتاج نسخة فاعلة من البروتين CCR5.

بعد انتهاء ‹أندو› من عرض اقتراحه ومغادرة مختبرنا، التفت أحدنا (‹جون›، وهو عادة ما يكون شديد التفاؤل) إلى الآخر وقال: «نعم، و كأن هذه الفكرة ستنجح!» ولكن الأمر كان يستحق المحاولة. وإضافة إلى كونه متخصصا للغاية في حذف الجين CCR5، كان نظام أصابع الزنك جذابا لأن البروتينات لا تحتاج إلّا إلى وقت قصير لكي تعمل من دون أن تترك أي أثر متبقٍ في الخلية.

تعزيز الآمال بفضل مريض برلين(*)

كنا قد تلقينا بالفعل إذنا من **إدارة الغذاء والدواء الأمريكية** FDA و**المعاهد الوطنية للصحة** NIH للشروع في إجراء دراسات السلامة في البشر، عندما انتشرت أخبار المعالجة الناجحة على ما يبدو لمريض برلين – مما منحنا دافعا أكبر للاعتقاد أن تسريب الخلايا التائية المزوّدة بالجين CCR5 الطافر إلى المرضى من شأنه توجيه ضربة كبيرة للفيروس HIV في أجسادهم. وعلى وجه الخصوص، ذكر ‹G. هوتر› وزملاؤه أنهم تمكنوا من إجراء ما يمكن اعتباره، ربما، تجربة تتم مرة واحدة في العمر. لقد كان أحد مرضاهم مصابا بالفيروس HIV لأكثر من عشر سنوات، وكانت أموره تسير على ما يرام بتناول الأدوية المضادة للفيروسات، وقد أصيب **بابيضاض الدم النقوي الحاد** acute myeloid leukemia، الذي لا يمت بصلة لعدوى الفيروس HIV. وقد أُخضع هذا المريض للمعالجة الكيميائية، ولكن السرطان رَجَع إليه مرة أخرى. ومن دون عملية زرع نقي العظم، التي يتم فيها إعادة إنشاء الجهاز المناعي لأحد الأشخاص في شخص آخر (بما في ذلك جميع الخلايا التائية)، كان المريض سيموت.

بحث ‹هوتر› في قواعد البيانات الأوروبية للمتبرعين المحتملين بنقيّ العظم، وبحث عن شخص تتطابق **واسمات المستضدات** HLA markers[2] لديه مع مثيلاتها في مريضه، وهي مجموعة بروتينات (مستضدات الكريات البيض البشرية) يستخدمها الجهاز المناعي لتمييز الأنسجة الخاصة به من تلك الخاصة بالمخلوقات الأخرى. وتمثل مطابقة نمط المستضدات HLA لدى المتلقي لزرع الأعضاء أمرا حيويا لمنع الخلايا المزروعة من اعتبار المضيف الجديد كأنسجة غريبة ومن ثم مهاجمتها (وهي حالة مرضية تعرف باسم **داء الطُّعم مقابل المضيف**[3])، ولمنع **الرفض** rejection من قبل أي من العناصر المتبقية من الجهاز المناعي السابق للمريض.

وعلى أية حال، فلم يتوقف ‹هوتر› عند هذا الحد، فقد أعرب عن أمله في العثور على شخص يمتلك واسمات المستضدات HLA المناسبة وتمتلك خلاياه أيضا نسختين طبيعيتين من الطفرة CCR5-Delta 32. ومن ثم، فمن الممكن لعملية زرع نقيّ العظم من مثل هذا الشخص تزويد متلقٍ مصاب بالفيروس HIV بجهاز مناعي جديد يتمتع بمقاومة مستمرة للفيروس.

(*) HOPES BOLSTERED BY BERLIN PATIENT
(١) encoded
(٢) HLA markers، حيث ترمز HLA إلى: Human Leukocyte Antigens = مستضدات الكريات البيض البشرية.
(٣) graft versus host disease

ومن المدهش أنه بعد قيام <هوتر> بالبحث في قواعد البيانات واختبار جينات أكثر من 60 متبرعا محتملا، وجد مرشحا يلبي مواصفاته. (تعقدت عملية البحث بفعل حقيقة أن **حيز المستضدات** HLA[(١)] يختلف كثيرا من فرد إلى آخر، كما توجد **جينات المستضدات** HLA[(٢)] والجين CCR5 على كروموسومات مختلفة). وقد مثّل هذا الاكتشاف مصادفة سعيدة بالنظر إلى أن عددا قليلا من الناس يمتلكون الطفرة CCR5-Delta 32 في كلتا نسختي الجين CCR5 لديهم في المقام الأول. ولحسن الحظ، فقد كان **نمط المستضدات** HLA[(٣)] لدى مريض برلين شائعا للغاية. (ولإعطاء القارئ فكرة عن مدى ندرة هذه التوليفة، يكفي أن نعلم أن الباحثين في جميع أنحاء العالم حاولوا تكرار هذه التجربة الألمانية، ولم يعثروا حتى الآن على أي شخص يمتلك المجموعة الملائمة من واسمات المستضدات HLA والطفرات CCR5).

وفي النهاية، احتاج مريض برلين إلى عمليتين لزرع نقيّ العظم من المتبرع لعلاج ابيضاض الدم لديه. ومن المذهل أنه بعد أكثر من خمس سنوات من عملية الزرع، وفي استمرار غياب العلاج بالأدوية المضادة للڤيروسات، لم يتمكن الأطباء من اكتشاف أي أثر للڤيروس HIV في دم أو كبد أو أمعاء أو دماغ أو الأنسجة اللمفاوية أو بلازما هذا المريض، وذلك باستخدام أكثر الاختبارات الجزيئية المتاحة حساسية. ولا أحد يعلم ما إذا كان قد تم القضاء فعلا على الڤيروس HIV من جميع الأنسجة في جسم مريض برلين، ومن ثم تحقيق ما يعرف باسم «**العلاج التعقيمي**»[(٤)]، لأن الڤيروس HIV يمكنه إدخال جيناته في كروموسومات خلايا مختلفة [انظر: «هل يمكن الشفاء من الڤيروس HIV؟»، **العلوم**، العددان 6/5(2009)، ص 20]، مما يسمح له بأن يظل كامنا لسنوات عديدة. ومن غير المعروف أيضا ما إذا كان التدمير الكامل لجميع ڤيروسات العوز المناعي البشري في جسم المصاب أمرا ضروريا إذا كان جهازه المناعي يمكنه الآن صدّ أي عدوى قد تظهر من جديد، مما يعني أنه قد «شفي عمليا» من المرض. وعلى أية حال، فلم يعُد المريض بحاجة إلى تناول العقاقير المضادة للڤيروسات كما كان جسمه خاليا من أية ڤيروسات يمكن اكتشافها. (وبالطبع، فهو ما زال بحاجة إلى تناول أدوية للحفاظ على صحة نقيّ العظم المزروع لديه.)

ولسوء الحظ، قد تكون التجربة الألمانية هي المثال الوحيد على المعالجة الناجحة بنقيّ العظم للڤيروس HIV لسنوات عديدة قادمة. ليس فقط لأن التوليفة الملائمة **لطفرات المستضدات** HLA[(٥)] و**الطفرات الجينية**[(٦)] في المتبرع والمتلقي تعد نادرة للغاية، بل لأن هذه المقاربة الخاصة مكلفة للغاية (تكلف عملية زرع نقيّ العظم في مستشفانا 000 250 دولار كحد أدنى)، وتتطلب وجود نظام مكثف من المعالجة الكيميائية، وإجراء عملية محفوفة بالمخاطر لزرع نقيّ العظم، ونظام علاجي مدى الحياة من الأدوية المضادة للرفض. وفي الواقع، فقد استبدل مريض برلين مجموعة من المشكلات - عدوى الڤيروس HIV (وابيضاض الدم) - بمجموعة أخرى، هي أن يكون متلقيا لعضو مزروع. فمعظم الأشخاص القادرين على عيش حياة صحية ومنتجة، بشكل أو بآخر، وهم يتناولون العقاقير المضادة للڤيروس HIV - على الرغم من آثارها الجانبية المعتبرة وتكاليفها المستمرة طوال الحياة - سيترددون في إجراء مقايضة مماثلة. وبالطبع فإن إصابة مريض برلين بنوع مميت من ابيضاض الدم (لوكيميا)، جعل لا خيار آخر لديه.

ومع تشجّعنا بفعل نتائج برلين، فقد كنا نعلم أيضا أن حذف (خبن) الجين CCR5 من الجهاز المناعي المُتبرّع به ربما لم يكن السبب الوحيد لحالة المريض الخالية ظاهريا من الڤيروس HIV. فربما كان مخزون المريض من جسيمات الڤيروس HIV الكامنة قد استُنزف خلال سنوات من المعالجة بالعقاقير المضادة للڤيروسات؛ أو ربما لم يعُد لدى المريض أية كمية متبقية من الڤيروس HIV بعد تدمير جهازه المناعي الأصلي خلال الإعداد لعملية الزرع؛ أو ربما أن النوبة الوحيدة المُهدّدة للحياة من داء الطُّعم مقابل المضيف التي أصيب بها مريض برلين أثناء علاجه قد دمّرت كل ما تبقى من الخلايا المصابة بالڤيروس HIV قبل أن تتم السيطرة على هذا التفاعل بواسطة الأدوية. (لا يوجد تطابق مثالي لواسمات المستضدات HLA بنسبة 100 في المئة - ما عدا بين التوائم المتماثلة). وعلى أية حال، يظل حذف الجين CCR5 هو التفسير الأقرب احتمالا لنجاح عملية الزرع، ولذا فإننا شرعنا بحماس في تنفيذ تجاربنا الخاصة.

تجارب سريرية جارية[(*)]

عندما تم الإعلان عن أخبار مريض برلين، كانت الشركة Sangamo قد طوّرت، كما وعدت، مجموعة من نوكليازات أصابع الزنك التي استهدفت موقعا قريبا من المتوالية

(*) CLINICAL TRIALS ARE UNDER WAY
(١) HLA region
(٢) HLA genes
(٣) HLA Pattern
(٤) sterilizing care
(٥) HLA mutations
(٦) genetic mutations

الرئيســـية للجين CCR5، والمكوّنة مـــن 32 نوكليوتيدا. (لأن الهدف هـــو تعطيل الجين CCR5، فلم يكـــن مهما أن نكرر الطفـــرة الجينية الطبيعية بصورة تامـــة، طالما أن البروتين النـــاتج قد توقف عـــن العمل.) وبالتعاون مـــع <E. بيريز>، التـــي كانت وقتها باحثة بعد الدكتـــوراه في مختبري، كنا قد أظهرنا أن عدوى الڤيروس HIV نفســـها، ويا للسخرية، يمكنها أن تساعد على عملية إعادة تشكيل الجهاز المناعي ليصبح أكثر قدرة على مقاومة الڤيروس. فقد أثبتت تجاربنا المختبرية أنه حتى الخلايا التائية، التي يتم تعطيل الجينات CCR5 لديها بفعل نوكليازات أصابع الزنك، كانت موجودة فـــي البداية بتواترات منخفضة في المزارع، وكانت الخلايا المحوّرة قادرة على تجديد وتثبيت جمهرات الخلايا التائية بعـــد التعرض للڤيـــروس HIV؛ وفي المقابـــل، فإن الخلايا التائية غير المحوّرة، والتي لا تزال تحتوي على المستقبلات CCR5 ، قد جرى تدميرها من قبل الڤيروس HIV. وبعبارة أخـــرى، فقد فتك الڤيـــروس HIV بالخلايا التائية المعرضة له، تاركا وراءه المزيد والمزيد من الخلايا التائية التي تفتقر إلى المســـتقبلة CCR5، والتي هي نفســـها الخلايا المقاومة للڤيـــروس HIV، ومن ثم يمكنها القيـــام بوظائفها كخلايا مناعية، وتوفير الوقاية من العدوى.

وبدورها، كانت نتائجنا الأولية في تجربة للمأمونية في البشر مشجعة. وبتوجيه من <P. تيباس> [وهو الطبيب المشرف على تجربتنا في فيلادلفيا] تلقى (في صيف عام 2009) أول مريض إعادة تســـريب للخلايا التائية المعدلة بالمســـتقبلات CCR5. ومنـــذ ذلك الحين، قمنا بمعالجة أحد عشـــر متطوعا إضافيا مصابين بالڤيـــروس HIV، وذلك في دراســـة أجريت برعاية المعاهد الوطنيـــة للصحة. وتقوم الشـــركة Sangamo بإجراء دراسة مماثلة على الساحل الغربي للولايات المتحدة. ومع أن دراسات المأمونية هذه، بحكم طبيعتها، ليست مصممة لإثبات ما إذا كان العلاج غير فعال أم لا، فقد لاحظنا أن عدد الخلايا التائية المســـاعدة المُقاس في اختبارات الدم التي أجريت قد ارتفع عن **خط الأســاس**[1] في جميع المرضى حتى الآن، مما يشـــير إلى أن هذا العلاج يقي علـــى الأرجح الخلايا التائية. إضافة إلى ذلك، فإن الخلايا التائية المساعدة التي تفتقر إلى المستقبلات CCR5 الفعالة تم اكتشافها في الأنسجة اللمفاوية للأمعاء وفي الدم. (وهذه الخلايا لا يمكن أن تكون مســـتمدة ســـوى من الخلايا المُعاد زرعها، التـــي جرى تعديلها بفعل نوكليازات أصابع الزنك.)

تتمثل الخطوة التالية في اختبار مدى قدرة الخلايا المناعية المحـــوّرة حديثـــا على محاربة جســـيمات الڤيـــروس HIV الموجـــودة بالفعل في الجســـم. وللقيام بذلـــك، نحن نطبّق اســـتراتيجية مقبولة تماما، مع أنهـــا مهيبة. وتحت المراقبة الدقيقـــة من قبل الأطبـــاء القائمين على الدراســـة، نخطّط لإيقاف تناول متطوعينا للأدوية المقاومة للڤيروس HIV لنرى ماذا سيحدث. وعندما فعلنا ذلك لمدة 12 أسبوعا مع أحد مرضانا الخاضعين للمعالجة، والذي ورث جينا واحدا من النوع CCR5-Delta 32 (مما يمنحه أفضلية طبيعية طفيفة)، لم نجد أي دليل على وجود الڤيروس في دمه أو أنســـجته اللمفاويـــة في ختام فترة التوقف التي دامت ثلاثة أشـــهر عن تناول الأدوية المضادة للڤيروســـات. أما المرضى الذين خضعـــوا للمعالجة في مرحلة لاحقة، فلا يزالون في خضم النظام المقرر والتالي للتسريب والمتابعة الذي يخضعون له، حيث ســـينتهون من هذه الزيارات خلال العام المقبل. ومن المقرر إجراء تجارب ســـريرية إضافية لاختبار فعالية هذه التقانـــة الجديدة. وإذا نجحت جهودنا فـــي نهاية المطاف، فمن الممكن أن تكـــون مقاربة نوكليازات أصابع الزنك أقل تكلفة من العمليات النادرة لزرع نقيّ العظم الذي يفتقر إلى البروتين CCR5، أو من المعالجة بالعقاقير المضادة للڤيروس HIV مدى الحياة.

قبل بضع ســـنوات فقـــط، لم تكن فكـــرة تطوير علاجات آمنـــة وفعالـــة وأقل تكلفة، من شـــأنها مكافحـــة طويلة الأمد للڤيـــروس HIV دون تناول أدوية، لا تعدو كونها رؤية لا يجرؤ ســـوى القليل منا حتى على أن يحلموا بها. وحتى لو لم تكن نوكليازات أصابع الزنـــك التي قمنا بتصميمها، تمثل علاجا شـــافيا، فنحن نعتقد أنها أقرب ما توصل إليه أي باحث في مكافحة الڤيروس HIV خلال ثلاثة عقود. ■

(1) baseline

مراجع للاستزادة

Establishment of HIV-1 Resistance in CD4+ T Cells by Genome Editing Using Zinc-Finger Nucleases. Elena E. Perez et al. in *Nature Biotechnology*, Vol. 26, pages 808–816; 2008.
Long-Term Control of HIV by *CCR5 Delta32/Delta32* Stem-Cell Transplantation. Gero Hütter et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 360, No. 7, pages 692–698; February 12, 2009.
Chemokine Receptor 5 Knockout Strategies. Paula Cannon and Carl June in *Current Opinions in HIV and AIDS*, Vol. 6, No. 1, pages 74–79; January 2011.
The Man Who Had HIV and Now Does Not. Tina Rosenberg in New *York Magazine*, May 29, 2011.
Cell and gene therapy professional societies: American Society of Gene and Cell Therapy (www.asgt.org) and International Society for Cellular Therapy (www.celltherapysociety.org)

Scientific American, March 2012

عين أقدر على العاصفة[*]

تقانة جديدة من شأنها إطالة وقت التحذير من الزوابع[1] والأعاصير الرعدية المطرية[2]، يمكن أن تنقذ سنويا مئات الأرواح.

< J. لوبكينكو> – < J. هيز>

بعد سماع هدير صوت عاصفة رعدية يصم الآذان، يسود صمت مخيف ثم تطلق السماء المُسوَدّة فوق بلدة جوبلين بولاية ميسوري أذرع زوبعة مُدوِّية هائلة متعددة الدوامات، وتمزق رياح عاتية تبلغ سرعتها 200 ميل في الساعة ممرا مدمرا عرضه ثلاثة أرباع الميل لمسافة ستة أميال عبر البلدة مُخَرِّبة مدارس ومستشفى ومتاجر ومنازل، ومودية بحياة نحو 160 شخصا.

قبل نحو عشرين دقيقة من حدوث ذلك الإعصار مساء يوم الأحد بتاريخ 2011/5/22، أصدر المتنبئون الجويون الحكوميون تحذيرا بحدوثه. وقد دامت في الواقع مراقبة الزوبعة بحذر لساعات ودامت توقعات الأحوال الجوية القاسية لعدة أيام. وصدرت هذه التحذيرات أبكر من المعتاد، ولكن على ما يبدو ليس بوقت مبكر كافٍ. ومع أنّ المسؤولين عن حالات الطوارئ كانوا في حالة تأهب قصوى، لم يكن كذلك العديد من السكان المحليين.

باختصار

في ظل التغير المناخي يحتمل أن تحدث أحوال جوية شديدة أقوى أو أكثر تكرارا كأن يحدث المزيد من الهطولات المطرية الغزيرة وهبوب رياح إعصارية أقوى.

ولذلك، فإن تحسين مستوى التنبؤ بالأحوال الجوية سيكون حيويا لإعطاء الجماهير مزيدا من الوقت للاستعداد لمواجهة أخطار العواصف العنيفة، مما يسهم في إنقاذ الأرواح وتقليل الأضرار التي تصيب البنية التحتية.

وتقانة جديدة للرادار، مثل التحسينات المحتملة في تقانة السواتل إضافة إلى النماذج الحاسوبية التي تعمل على حواسيب فائقة أكثر قوة، ستمكن المتنبئين الجويين بـ «رؤية» أفضل للأحوال الجوية القاسية.

هذا وإن إطالة زمن فترة التحذيرات لن يكون لها مفعول إلا إذا اقترنت بفهم أفضل لكيفية جعل الناس يستجيبون لهذه التحذيرات. وكل ذلك في نطاق جهود تبذل لبناء «أمة مستعدة للأحوال الجوية القاسية».

(*) A BETTER EYE ON THE STORM
(1) tornadoes
(2) hurricanes

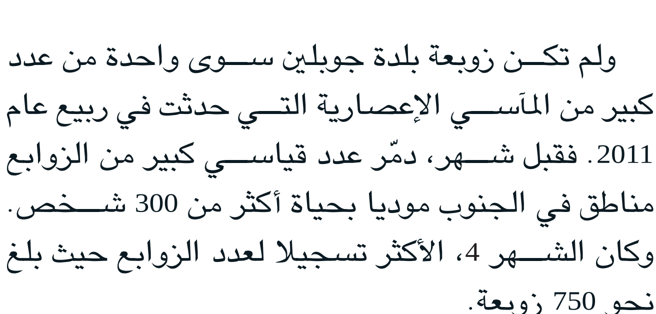




المؤلفان

Jane Lubchenco

تترأس <لوبكينكو> الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي NOAA منذ عام 2009، وهي اختصاصية في البيئة البحرية وباحثة بيئية، مع خبرة في المحيطات وتغير المناخ والتفاعلات بين البيئة والرفاه البشري.



John L. "Jack" Hayes

<هيز> هو مدير مصلحة الأرصاد الجوية الوطنية في الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي NOAA، والمسؤول عن إعداد تحذيرات الأحوال الجوية والتنبؤات وإرسالها إلى الحكومة والمصانع والجمهور.

ولم تكن زوبعة بلدة جوبلين سوى واحدة من عدد كبير من المآسي الإعصارية التي حدثت في ربيع عام 2011. فقبل شهر، دمّر عدد قياسي كبير من الزوابع مناطق في الجنوب موديا بحياة أكثر من 300 شخص. وكان الشهر 4، الأكثر تسجيلا لعدد الزوابع حيث بلغ نحو 750 زوبعة.

كانت سنة 2011 سنة الزوابع الرابعة الأكثر إهلاكا للبشر في تاريخ الولايات المتحدة حيث أدّت إلى 500 ضحية. وفضلا عن ذلك تسببت أعاصير تلك السنة العاصفة بخسائر جسيمة. وكل حدثٍ من أحداث الأحوال الجوية والمناخ القاسية الأربعة عشرة - من زوبعة بلدة جوبلين إلى فيضانات الأعاصير الرعدية المطرية والعواصف الثلجية - سبّب أضرارا قدّرت بأكثر من بليون دولار. وقد استمرت شدة العواصف إلى أوائل عام 2012؛ حيث قتلت الأعاصير بتاريخ 2012/3/2 أكثر من أربعين شخصا في إحدى عشرة ولاية من ولايات الغرب الأوسط والجنوب الأمريكية.

ومع أن أدوات التنبؤ بالأحوال الجوية القاسية تطورت في العقود الأخيرة، إلا أن باحثين ومهندسين يعملون في **الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي** (NOAA)[1] يسعون حاليا إلى تحسين الرادارات والسواتل والحواسيب الفائقة من أجل إطالة أوقات التحذير من الزوابع والعواصف الرعدية، وكذلك من أجل تحديد أفضل لشدة العواصف الرعدية المطرية والتنبؤ بالفيضانات. وفي حال نجاح هذه الجهود، وبعد عقد من الآن، سيحصل السكان على تحذير قبل ساعة من حدوث زوبعة شديدة، مما سيتيح لهم وقتا كافيا، على سبيل المثال، لتفهم (لاستيعاب) الوضع وجمع شمل العائلة والاحتماء بالملاجئ.

قوة الرادار[*]

يترأس <D. فورسايث> [اختصاصي الرصد الجوي] جهود تحسين أداء الرادار الذي يؤدي دورا في التنبؤ بمعظم الأحوال الجوية. وبشكل رئيسي يهتم <فورسايث>، وهو رئيس قسم أبحاث الرادار وتطويره في المختبر الوطني للعواصف الشديدة التابع للإدارة NOAA في مدينة نورمان، بشكل رئيسي بتحسين أوقات التحذير من الزوابع بسبب أنّ العواصف القاتلة تتشكل بسرعة والرادار هو أداة المتنبِّئ الرئيسية لتحديد (لاستشعار) البدء بتشكل زوبعة.

يعمل الرادار على إرسال موجات لاسلكية تنعكس على الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي كقطرات مطر أو ثلج بل وحتى حشرات وغبار. وعن طريق قياس شدة هذه الموجات التي تعود إلى الرادار ومدة الوقت التي تستغرقها في الذهاب والإياب، يستطيع المتنبئون الجويون أن يحددوا مكان الهطولات وغزارتها. ويقيس **رادار دوبلر**[2] المستخدم حاليا في **مصلحة الأرصاد الجوية الوطنية**[3] التغيرَ في تردد الموجات المرتدة، الذي يزودنا بمعلومات عن اتجاه وسرعة تحرك هطولات الأمطار. وهذه المعلومات الأساسية تمكّن المتنبئين الجويين من رؤية حركة الدوران التي تحدث ضمن العواصف الرعدية قبل أن تتشكل الزوابع.

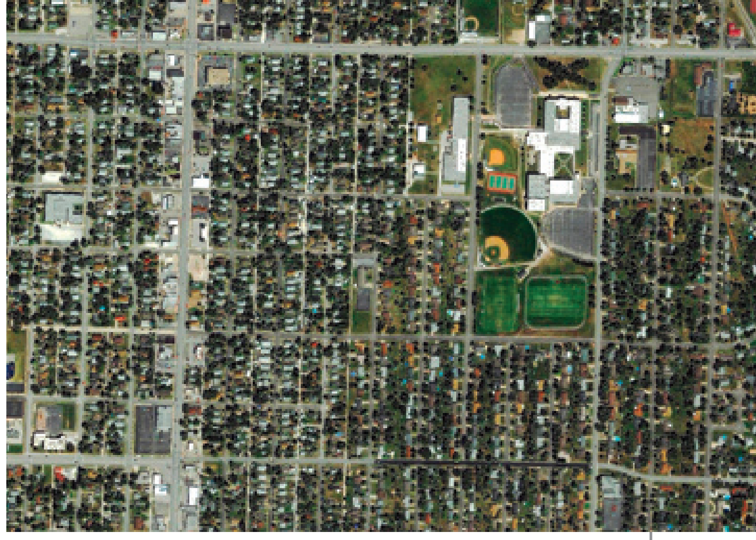
ففي عام ، كان <R. براون> و<L. ليمون> و<D. بوركس> [اختصاصيو الأرصاد الجوية في الإدارة NOAA] قد اكتشفوا هذه المقدرة على التنبؤ بالمعلومات عندما حللوا بيانات حصلوا عليها من زوبعة ضربت مدينة يونيون سيتي بولاية أوكلاهوما. فقد لاحظوا في بيانات الرادار تيارات قوية جدا تنطلق نحو الخارج تجاورها تماما تيارات قوية جدا تنطلق نحو الداخل. وكان هذا الظهور المرئي لتلك البيانات غير عادي لدرجة أن هؤلاء الباحثين الثلاثة لم يعرفوا في البداية ما الذي تعنيه. ولكنهم بعد مطابقة تلك البيانات بمكان الزوبعة، أطلقوا عليها اسم «**بصمة دوامة الزوبعة**» (TVS)[4]. وتعتبر البصمة TVS الآن المؤشر المتري الأكثر أهمية والمعترف به على نطاق

(*) THE POWER OF RADAR
(١) The National Oceanic and Atmospheric Administration
(٢) Doppler radar
(٣) The National Weather Service
(٤) Tornadic Vortex Signature

تحذير صائب(*)

لقي العديد من الأشخاص مصرعهم جراء الزوابع التي ضربت مدينة جوبلين بولاية ميسوري في الشهر 2011/5، لأن الطقس كان شديدا للغاية، ولكن عدد القتلى سيكون أقل لو أن مزيدا من الأشخاص وجدوا ملجأ آمنا يحتمون به في وقت أبكر. لقد عملت <V. براون> العالمة الاجتماعية في الإدارة NOAA، مع فرق أبحاث من مصلحة الأرصاد الجوية الوطنية على تحديد ما الذي كان ينبغي عمله بصورة عامة، لا يعتقدون أن الحالات التي هي قليلة الحدوث، ولكن بالغة التأثير كالزوابع والأعاصير المطرية، سوف تطالهم شخصيا. فتصوراتنا «أنّنا بأمان» تتحول إلى «أنّنا بخطر» فقط فور حدوث كارثة تصيب شريحة عريضة من المجتمع. وبعد إبلاغ الإدارة NOAA بواقع الحال في أعقاب زوبعة مدينة جوبلين، دعت إلى إجراء حوار وطني حول كيفية بناء «بلد متأهب للأحوال الجوية».

من قبل الأفراد، يزداد، إذا ما رأوا أفرادا من أسرتهم أو أصدقاء لهم يتخذون مثل هذا الإجراء. كما أن بإمكان الإدارة NOAA التشجيع على مثل هذا السلوك عن طريق العرض المستمر لآخر التطورات على صفحتيها في الفيسبوك والتويتر، وهو الأمر الذي تجري تجربته حاليا؛ وكذلك عن طريق عرض التحذيرات على الإنترنت مباشرة في خرائط گوگل Google. وتتضمن أيضا الخطوات الموصى بها



مدينة جوبلين بولاية ميسوري في الشهر 2009/8

بعد زوبعة الشهر 2011/5

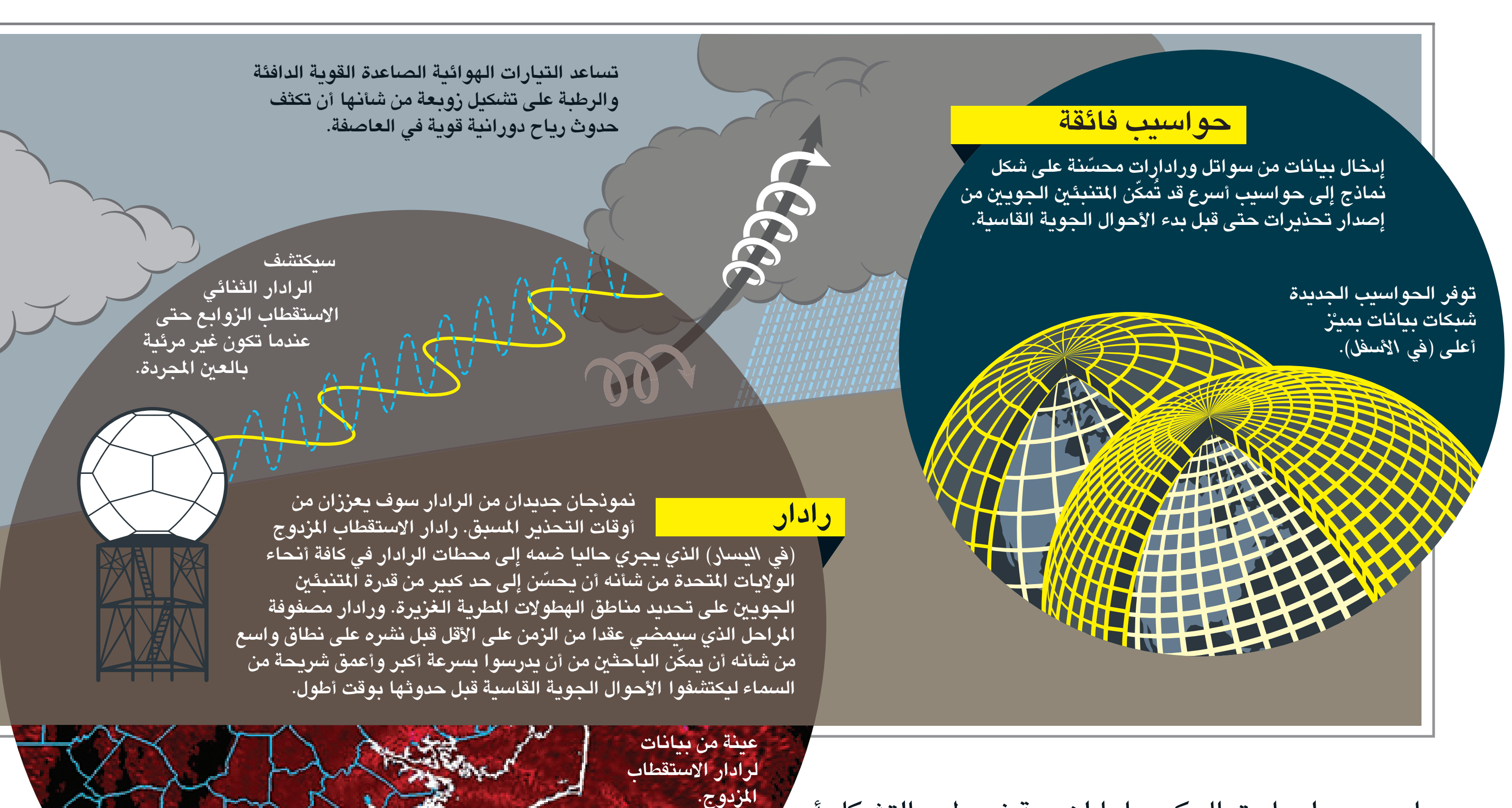
من أجل تحفيز الجماهير على القيام بإجراءات أفضل لتجنب الكارثة. وقد اكتشفوا أن العديد من الأشخاص لم يحركوا ساكنا عندما سمعوا أول صفارة إنذار أو عندما علموا بأول إنذار يحذر من زوبعة، بل انتظروا حتى يتلقوا تأكيدا لما يحدث من مصادر أخرى بما في ذلك الأصدقاء. ومن المرجح أنهم دخلوا أحد الملاجئ بعد حصولهم على مثل هذا التأكيد. وهناك آخرون لم يأخذوا بشكل كافٍ التحذير بالخطر على محمل الجد.

وكما تشرح <براون> فإن الناس، وتبرز تحليلات تم التوصل إليها في اجتماعات علمية مختلفة عددا من الخطوات بإمكانها أن تقنع المزيد من الأشخاص بالاستجابة للتحذيرات. ومن بين هذه الخطوات انتقال متنبئين جويين إلى الإذاعة والتلفاز ليُظهروا الموقع الدقيق للعاصفة الوشيكة. ومن بينها أيضا قيام الأشخاص الذين يحضّرون أنفسهم لمواجهة أخطار العاصفة باستخدام برامج التواصل الاجتماعي مثل الفيسبوك Facebook والتويتر Twitter للإعلان عما يقومون به، وذلك لأن احتمال اتخاذه إجراء ما

لإقناع المزيد من الأشخاص بالاستجابة للتحذيرات، وإرسال رسائل نصية (SMS) من كل برج من أبراج الهواتف الخلوية، تحذر من الوضع الكارثي، إلى جميع هواتف المشتركين في محيطها، وهو ما بدأت الوكالة الاتحادية لإدارة الطوارئ واللجنة الاتحادية للاتصالات بالقيام به فعلا. وإذا أُضيفت جميع هذه الجهود إلى التحذيرات المبكرة فإن مثل هذه الإجراءات يمكن أن تساعد على التقليل من حجم المأساة إلى أدنى درجة.

<د. لوبكينكو> - <د. هيز>

(*) FAIR WARNING



واســـع، على احتمال كبير إما لزوبعة في طور التشكل أو لإمكان تشكل واحدة في المستقبل القريب جدا. لقد مكّنت هـــذه البيانات من إطالة أوقات التحذير من الزوابع بحيث ازداد متوســـطها الوطني من 3.5 دقيقة عام 1987 إلى 14 دقيقة في الوقت الحاضر.

ومـــع أنّ رادار دوبلر هو رادار **مُحـــوِّل** transformative، إلا أنّ تحويله غير خالٍ من الأخطاء، فهو يترك اختصاصيي الأرصـــاد الجوية مثل «فورســـايث» غير قـــادر على تعرُّف جســـيم محدّد، ويمكّن، على ســـبيل المثال، مـــن التمييز بين عاصفة مطرية وأخرى رملية. ومن المفارقات أنّ «فورسايث» انتقـــل إلى مهنة الرصد الجوي بعـــد أن قُضي على طموحه فـــي أن يصبح طيارا في ســـلاح الجو الأمريكي بعد إخفاقه في امتحان النظر. ومنذ ذلك الحين، ركّز «فورسايث» جهوده على تحســـين الرادار وتطويره بحيث يوفر للمتنبئين الجويين إمكان الحصول على رؤية أفضل للغلاف الجوي.

وأحد التحســـينات الحاسمة التي أجراها فورسايث تدعى **الاســـتقطاب المـــزدوج** dual polarization. فهـــذه التقانة تمكّن المتنبئـــين الجويين من التفريق بثقة أكبـــر بين أنواع الهطولات وكمياتها. فمع أن لقطرات المطر وحبات البَرَد في بعض الأحيان الاتساع الأفقي نفسه مما يجعلها تبدو متماثلة في صور رادار دوبلـــر إلا أن قطرات المطر تكون أكثر تســـطحا. وهكذا، فإن إدراك المتنبئين الجويين لهذا الفرق في شكل الجسيم من شأنه أن يقلّل من مســـتوى التخمين، الذي لابد منه لأي متنبئ جوي من أجل تحديد نوعية الميزات البارزة المســـتخلصة من المسح الراداري. بحيث يدرك يســـاعد على إصدار تنبؤات جوية أكثر دقة، بحيث يدرك الســـكان، على ســـبيل المثـــال، أنّ عليهم أن يتهيؤوا لمواجهة حبات بَرَد وليس قطرات مطر.

كمـــا أن المعلومات التـــي يتم الحصول عليهـــا عن حجم الجســـيم وشكله تساعد أيضا على تمييز القطع الصغيرة من الحطام الذي يحمله الهـــواء الصاعد من الزوابع والعواصف الرعدية العنيفة. وهذا ما يمكّن اختصاصيي الأرصاد الجوية من اكتشـــاف أن هناك عاصفة مؤذية آخذة في النمو. وتحتل بيانات الجسيم أهمية خاصة عندما يتعامل **متقفي الأعاصير**[1] مـــع زوبعة غير مرئية بالعين المجـــردة. ففي الحالة التي تكون

(١) tornado tracher



تحسين التنبؤ بالأحوال الجوية(*)

قطع التنبؤ بالعواصف شوطا كبيرا. فعلى سبيل المثال صار بإمكان المتنبئين الجويين الآن إصدار تحذيرات لسكان الولايات المتحدة مدتها الوسطية أربع عشرة دقيقة قبل أن تضرب زوبعة منطقتهم. ومع ذلك، فإن مدة التحذير قد تزداد زيادة كبيرة تسبق حدوث جميع أنواع الأحوال الجوية القاسية نتيجة للتحسن التقاني الذي ستحققه الإدارة NOAA.

فيها الزوبعة قد سُجلت أثناء هطولات مطرية غزيرة أو خلال الليل، فإن الاستقطاب المزدوج يستطيع مع ذلك أن يكتشف الحطام المحمول في الهواء.

وتقوم مصلحة الأرصاد الجوية الوطنية حاليا بإدخال **تقانة الاستقطاب المزدوج** dual-polarization technology في جميع رادارات دوبلر الـ160 المنتشرة في الولايات المتحدة، ومتوقعة أن تنتهي من ذلك في أواسط العام القادم (2013). ومن الجدير بالذكر أن هذه التقانة تساعد على رصد ومراقبة الهطولات في الأعاصير الرعدية المطرية والعواصف الثلجية العنيفة. وفي الوقت الذي يجري فيه إدخال هذه التقانة في جميع رادارات دوبلر، يقوم اختصاصيون من مصلحة الأرصاد الجوية الوطنية بتدريب المتنبئين الجويين على تفسير الصور الجديدة التي ترسلها الرادارات. وكان مركز الرصد الجوي في نيوبورت/مورهيدسيتي بولاية كارولاينا الشمالية أولَّ من تفحص بدقة إعصارا مداريا مستخدما مثل هذا الرادار، وذلك عندما حط **إعصار إيرين**(1) على اليابسة في ولاية كارولاينا الشمالية عام 2011. وقد ثبت من خلال تفحّص تلك العاصفة أن رادارات دوبلر المدمج بها تقانة الاستقطاب المزدوج هي أكثر دقة في تحري معدلات الهطولات وبالتالي التنبؤ بالفيضانات مِنْ رادارات دوبلر غير المدمج بها تلك التقانة المنتشرة إلى الشمال منها. وبالتأكيد، فإن هذه القدرات التي جرى تحسينها قد أنقذت أرواحا في ولايتي كارولاينا الشمالية والجنوبية. أما على الساحل إلى الشمال، حيث لم يجر دمج تقانة الاستقطاب المزدوج في رادارات دوبلر فقد كان إعصار إيرين المطري أكثر فتكا بالأرواح، إذ قتل نحو ثلاثين شخصا، على الرغم من صدور تحذيرات مبكرة.

وتعتقد ‹P. هاينسيلمان› [اختصاصية الأرصاد الجوية الباحثة في الإدارة NOAA] أن ثمة تقانة رادارية متطورة أخرى تستخدمها البحرية الأمريكية لاكتشاف وملاحقة سفن العدو وصواريخه بحيث يحتمل، إذا استخدمت بدورها في رادارات دوبلر، أن تحسّن أيضا التنبؤ بالأحوال الجوية. وتقود ‹هاينسيلمان› فريقا من المهندسين الكهربائيين والمتنبئين الجويين وعلماء الاجتماع في المركز الوطني لاختبار رادار الأحوال الجوية في مدينة نورمان بولاية أوكلاهوما. ويركز هذا الفريق عمله على تقانة تدعى **رادار**

(*) Improving Weather Prediction
(١) Hurricane Irene

صفيف المراحل phased array radar.

تَمْسَــحُ راداراتُ دوبلر الحالية الغلافَ الجوي على ارتفــاع واحد في وقــت واحد بقرص على شــكل قطع مكافئ يدور آليا. وعندما يُنهي القُرص مَسْــحَ شــريحة كاملة محيطها 360 درجة، يميل إلى الأعلى ليمسح قطاعا صغيرا آخر من الغلاف الجوي. وبعد أن يمسح الغلاف الجــوي من أســفله إلى أعلاه، يعود الــرادار إلى أدنى زاوية ويبــدأ العملية مجددا. ويبلغ عدد الشــرائح التي يمســحها الرادار خلال أحوال جوية ســيئة للغاية أربع عشرة شــريحة. ويســتغرق رادار دوبلر لمسح الغلاف الجوي بكاملــه خلال أحوال جوية ســيئة للغاية ما بين أربع إلى ست دقائق.

وخلافا لرادار دوبلر، فإن رادار صفيف المراحل يرسل حزما متعــددة، في الوقت ذاته، ملغيــا الحاجة إلى إمالة الهوائيات، ممــا يخفض المدة الزمنية بين عمليات مســح العواصف إلى أقل من دقيقة واحدة. وهذا التحســين من شــأنه أن يمكّن اختصاصيي الأرصاد الجوية من «رؤية» التغييــرات المتطورة بســرعة في الدورانــات الجارية في العاصفة الرعدية وأن يكتشــفوا بســرعة أكبر، في نهاية المطــاف، التغييــرات التي تســبب الزوابع. وقــد أقامت ‹هاينســيلمان› وفريقهــا الدليلَ علــى أن رادار صفيف المراحل بإمكانه أيضــا أن يجمع معلومات عن العواصف التي يكون الحصول عليها غير متاح حاليا مثل التغييرات الســريعة في حقول الرياح التي يمكن أن تسبق التغيرات السريعة في شدة العاصفة.

وتعتقد ‹هاينســيلمان› وآخرون أن بإمكان تقانة رادار صفيف المراحل وحدها أن تزيد مدة التحذيرات من زوبعة إلى أكثر من ثماني عشــرة دقيقة، إلا أن الأمر يحتاج إلى إجراء كثيــر من الأبحاث والتطوير. ومــن الناحية المثالية فــإن رادار صفيف المراحل ينبغــي أن يحتوي على أربعة ألواح تقوم بإصدار واســتقبال موجات لاســلكية لإعطاء صورة تغطي 360 درجة من الغلاف الجوي أي لوح واحد لكل من الشــمال والجنوب والشرق والغرب. أما الباحثون في مدينة نورمان فلم يعملوا ســوى نظــام اللوح الواحد لمراقبة الأحوال الجويــة؛ ومن المحتمل أن يمضي عقد من الزمن على الأقل، قبل أن يصبح رادار صفيف المراحل هو القاعدة في كافة رادارات مراقبة الأحوال الجوية المنتشرة في الولايات المتحدة.

عيون في السماء(*)

وبالطبع، فحتى أفضل الرادارات لا تستطيع الرؤية على الجانب الآخر من الجبال أو داخل المحيطات حيث تتشــكل الأعاصيــر. ولذلك، فــإن المتنبئين الجويــين يعتمدون على **الســواتل** satellites للحصــول على معلومات عن الأوضاع فيها، كما يعتمدون عليها أيضا للحصول على بيانات أوسع تُكمل المعلومات التي يجري الحصول عليها من رادار محلي ما. وتقوم سواتل الأحوال الجوية في الإدارة NOAA بتوفير أكثــر من 90 في المئــة من البيانات التي يتــم إدراجها في التنبــؤات الجوية اليومية والتنبــؤات الجوية الطويلة الأمد، وهي بيانات ذات أهمية حاســمة من أجل إصدار تحذيرات قبل عــدة أيام من احتمــال حدوث أحــوال جوية خطيرة. ولتحســين تســلُّم هذه المعلومات البيئية الأساسية، ستقوم الإدارة NOAA بنشــر سلســلة من التقانــات الجديدة في غضون السنوات الخمس القادمة.

ولكن من دون أرصاد أكثر تفصيلا بواســطة السواتل التي من شــأنها أن تطيــل أمد التنبؤات الجويــة الدقيقة ولا ســيما فيما يتعلــق بحالات الأحوال الجوية القاســية كالأعاصير المطرية، فســيكون إصدار مثل هذه التحذيرات مقيدا إلى حد كبير. فمراقبة الأحوال الجوية تتطلب نوعين من السواتل: **سواتل ثابتة فوق الكرة الأرضية** geostationary وأخرى تدور في **مــدار قطبي** polar-orbiting. فالســواتل الثابتة، التــي تبقى ثابتة في مكانها فــوق نقطة معينة من ســطح الأرض على ارتفاع نحو 22.000 ميل، تُرسِل صورا شبه متواصلة لسطح الأرض. ويستطيع المتنبئون الجويون عن طريق استخدام أشــرطة من الصور المأخوذة من هذه الســواتل على فترات تفصل بين صورتين متتاليتين خمس عشــرة دقيقة، أن يرصدوا العواصف التي تنمو بسرعة أو أن يتحــرّوا التغييرات التي تجري فــي الأعاصير المطرية (ولكن ذلك لا يشمل الزوابع).

أما السواتل التي تدور في مدار قطبي حول الأرض من قطب إلى آخر على ارتفاع نحو 515 ميلا، فإنها تعطي رصدات أكثر قربا وتفصيلا عن درجات الحرارة والرطوبة لطبقات مختلفة من الغلاف الجوي. وتوجد مجموعة عالمية من هذه **الســواتل التي تــدور على مدار منخفض حول الأرض** (LEO)(1)، تغطي الكرة الأرضية بكاملها كل 12 ساعة.

(*) EYES IN THE SKY

(١) Low Earth Orbit (LEO) satellites

وتخطط الإدارة NOAA لإطلاق سلسلة جديدة من السواتل LEO خلال السنوات العشر القادمة كجزء من **نظام السواتل القطبية المشتركة**[1]، بعد تحديث تجهيزاتها بأجهزة أكثر تطورا. وسوف يجري إدخال البيانات التي ترسلها هذه السواتل في نماذج حاسوبية للأحوال الجوية بغية تحسين نشرات التنبؤ بما فيها التنبؤ بمسارات الأعاصير المطرية وشدتها وكذلك التنبؤ بالعواصف الرعدية العنيفة والفيضانات الكاسحة. وسترسل مجموعة من الأجهزة المطورة للاستشعار **بالموجات الميكروية** microwave **والأشعة تحت الحمراء** معلومات ثلاثية الأبعاد محسنة جدا عن درجات الحرارة والضغط والرطوبة في الغلاف الجوي لأن هذه المعلومات مهمة جدا نظرا لأن حدوث تغييرات سريعة في الحرارة والرطوبة بوجود ضغط جوي منخفض يعتبر مؤشرا على عاصفة شديدة. وتتولى أجهزة الاستشعار بالأشعة تحت الحمراء توفير تلك القياسات (لدرجات الحرارة والرطوبة والضغط) في المناطق غير المغطاة بالغيوم. أما أجهزة الاستشعار بالموجات الميكروية فبإمكانها توفير المعلومات ذاتها (في المناطق المغطاة بالغيوم) نظرا لأنها قادرة على أن «ترى عبر الغيوم» حتى سطح الأرض.

وفي الشهر 2011/4 أي قبل خمسة أيام من ضرْب عاصفة هوجاء ست ولايات جنوبية، أرسلت السواتل الحالية ذات المدار القطبي التابعة للإدارة NOAA بيانات مكنت مركز التنبؤ بالعواصف التابع أيضا لهذه الإدارة بعد تلقيمه بالنماذج، إلى التنبؤ «بزوبعة تاريخية في قوتها». وبناء على ذلك، قام المركز في منتصف الليل وقبل حدوث هذه الزوبعة، برفع حالة الخطر إلى أعلى مستوى. وهذا المستوى من التوقُّع لا يلجأ المتنبئون إلى إصداره إلاّ عندما يتوقعون حالات غاية في الشدة، ويكون عدم تيقنهم من حدوثها في أدنى مستوى له، كما أنهم لا يلجؤون إليه إلا عندما يكون انفجار عواصف عنيفة للغاية قد تَمَّ تحريه بالفعل. وسوف يمكّن نظام السواتل LEO الجديد المتنبئين من توقّع مثل هذه الحالات الشديدة قبل مدة تتراوح ما بين خمسة إلى سبعة أيام من حدوث العاصفة.

كما أن السواتل الثابتة فوق الكرة الأرضية سوف تتحسن أيضا. إذ ستزود سلسلة السواتل GOES-R، التي ستطلق عام 2015، بأجهزة مطورة ستقوم بتصوير الأرض كل خمس دقائق بالموجات المرئية والموجات تحت الحمراء، كما ستزيد عدد المراقبات الرصدية من واحدة كل خمس عشرة دقيقة إلى واحدة كل خمس دقائق أو أقل، مما سيتيح للعلماء مراقبة أفضل للاشتداد السريع في العواصف العنيفة. وفضلا عن ذلك ستزود السواتل GOES-R العالَم بأول منظر فضائي للأماكن التي تحدث فيها **بروق** lightnings في نصف الكرة الغربي. وسيساعد مخطط الصواعق (البروق) المتنبئين الجويين على تحري ارتفاع وتيرة ومضات البرق داخل كل سحابة وبين السحابة وسطح الأرض. وتشير الأبحاث إلى أن ارتفاع وتيرة هذه الومضات يحدث قبل عشرين دقيقة أو أكثر من هطول البَرَدْ وهبوب الرياح العاتية بل وحتى حدوث الزوابع.

بلايين البيانات(*)

وبإمكان جميع هذه التقانات الجديدة للرادار والسواتل أن تحسّن أوقات التحذيرات بعدة دقائق، ولكن إدخال البيانات التي يجري الحصول عليها من جميع هذه الأنظمة إلى نماذج التنبؤ في الحاسوب بإمكانه أن يوفر المزيد من الوقت. على سبيل المثال، فإن التحذيرات من الزوابع يمكن إصدارها مقدما قبل ساعة من حدوثها. وهذا النوع من المهلة الزمنية الذي لو كان متاحا في حالة إعصار بلدة جوبلين، لجعل الوضع مختلفا جدا.

تعتمد نماذج التنبؤ على القوانين الفيزيائية التي تحكم حركة الغلاف الجوي والتفاعلات الكيميائية وغيرها من العلاقات. وبسرعة كبيرة، تعالج هذه النماذج ملايين الأرقام التي تمثل حالة الأحوال الجوية والظروف البيئية الحالية، كدرجة الحرارة والضغط الجوي والرياح لكي تتنبأ بالحالة المستقبلية للغلاف الجوي. لنتخيل شبكة ممتدة فوق سطح كوكب الأرض وأخرى فوقها بعدة مئات من الأقدام، وأخرى في طبقة بعد طبقة حتى أعلى طبقة **للستراتوسفير** stratosphere التي تعلو عن سطح الأرض بنحو 30 ميلا. لذلك، فإن الأمر يحتاج إلى ملايين الأسطر **لكود** code من أجل ترجمة بلايين نقاط شبكة موضوعة تحت المراقبة.

فالنموذج العادي من نماذج التنبؤ يستخدم حاليا شبكات على سطح الأرض تغطي كل منها ساحة تبلغ مساحتها ما بين نحو 5 و 30 ميلا مربعا. وكلما صغرت مساحة الساحات كان **ميز** resolution النموذج أعلى وأفضل في تحري التغيرات التي تحدث في الغلاف الجوي على نطاق صغير والتي من شأنها أن تولد العواصف. وعلى كلٍ، فإن معالجة المزيد من

(*) BILLIONS OF DATA
(1) the Joint Polar Satellite System

التتمة في الصفحة 80

ما الحياة إلا لعبة صَدَفة(*)

كما هو حال البشر، فإن **السلطعون الناسك**(1) وحيوانات أخرى تتداول ما كان آخرون قد استغنوا عنه.

<ا. تشيس>

فـي صباح باكر من يوم من أيام الشـهر 1986/6 خضت بركة ضحلة شكّلها المد على شاطئ لونگ آيلاند Long Island وجلست على صندوق فارغ، ثم ألقيت في البركة صدفة حلزون شـاغرة. وخلال بضع دقائق أتى **سلطعون ناسك**(1) صغير يجري نحوها، وأخذ يتفحصهـا، ثم أدخل كلاباته في فتحة الصدفة ليقيس حجم تجويفها ثم قلَّبها عدة مرات ليتأكد أنها خالية من الثقوب. وبسـرعة فاقت قدرتي على المتابعة، سَحَبَ السلطعون جسمه من ملجئه القديم وأدخل بطنه غير المحصّن ضمـن الصدفة التي ألقيتها في الماء وسـار مبتعدا وراضيا بالمبادلة التي أجراها، مخلّفا وراءه الصدفة الأصغر التي كان يتخذ منها مقرا له. وبعد بضع دقائق اكتشف سلطعون ناسك آخر المسكن المهجور وبعد تفحصه متبعا الطقوس ذاتها دخل إليه وجرى مبتعدا. وبعد نحو عشر دقائق عثر سلطعون ثالث على المسكن الذي هجره الثاني واحتله مخلفا صدفة صغيرة بها ثقب كبير.

ربما بدا الأمر غريبا، ولكن تلك اللحظات كانت من أسـعد أوقات حياتي كباحث. فقد أمضيت نحو عشرة أعوام أتساءل ما إذا كان السلطعون الناسك يتخذ من الأصداف التي أخلاها قاطنوها من السلطعونات الأخرى مسكنا له. وأخيرا حصلت على التأكيد القاطع. وأصبحت أول من يرى حيوانا يسـتخدم ما يسميه علماء المجتمع والاقتصاديون «**سِلسلة الشواغر**(2).» وهي باختصار أسـلوب منتظم لتـداول موارد من قبل بعض الأفـراد كان آخرون قد اسـتغنوا عنها. ومع أن السـلطعون الناسـك لا يمتلك نسبيا سـوى دماغ وجملة عصبية بسيطي التكويـن، إلاّ أنه تمكن من تطوير أنماط متقدمة من السـلوك الاجتماعي تتيح له الاستفادة المثلى من سلاسل الشواغر.

وعلـى الأغلب، سيكتشـف الباحثون أنماطـا مماثلة من السـلوك تنتهجها حيوانـات أخرى. بل هنـاك أدلة ابتدائية تشـير إلى قيام حيوانات، إضافة إلى السـلطعون الناسك، منها بعض الأسـماك و**الكركن** lobster و**الأخطبوط** octopus و**البطلينوس** limpet و**نقار الخشب** woodpecker بتحسـين منازلها مسـتخدمة سلسلة الشـواغر. وستسمح لنا دراسة سـلوك هذه الحيوانات بتعرف آليات من شـأنها أن تحسن سلاسل شـواغر في مجتمعاتنا، وتزودنا بالبصيرة اللازمة لحل مشـكلات مثل ندرة الشـقق في حـي مانهاتن وجرائم المخـدرات. وإن اعتماد السـلطعون الناسـك وسـواه من المخلوقات على سلاسـل الشواغر يسـهم في تغيير الطريقة التي يفكر بها علماء المجتمع بالاسـتراتيجيات الاقتصادية. ويبـدو أن بعـض أنماط السـلوك على المسـتوى التكتيكي لا تتطلـب توافر ذكاء من المسـتوى المتاح للبشـر أو خصلة **الإيثار**(3)، فهي منتشرة بين العديد من أنواع الحيوانات.

سلطعونات مصطفة(**)

من الشـهر 6 إلى الشهر 1986/9 وخلال الصيف التالي، جئـت بمجموعـات مـن الطلبة إلى شـاطئ وسـت ميدوز ليراقبوا سلاسـل الشـواغر في پاكـوروس لونگيكارپوس Pagurus longicarpus – وهـو سـلطعون ناسـك مألوف على السـاحل الشـرقي للولايات المتحدة. وكنت أود الكشف عن بعض الحقائق الأساسـية حول هذه السلاسـل، مثل تعداد السلطعونات التي استحوذت على أصداف جديدة في سلسلة من طول وسـطيّ وما إذا أدى توافر أصداف أكبر إلى نشوء سلاسـل أطول. وبعد صبـاح يوم من المراقبـة توجهنا إلى مختبري ووضعنا القشـريات في ماء دافئ لتسترخي بحيث يتسـنى لنا إخراجها من الأصداف دون أن نؤذيها. ومن ثم قمنا بوزن السلطعونات وقياس أبعادها وأبعاد أصدافها في

(*) LIFE IS A SHELL GAME
(**) CRABS IN QUEUE
(1) hermit crab
(2) vacancy chain
(3) altruism



المؤلف

Ivan Chase

<ا. تشيس> أستاذ فخري في جامعة ستوني بروك، حيث يدير مختبر دراسة التنظيم المجتمعي. ويدرس <تشيس> تراتبيات الهيمنة dominance hierarchies وتوزيع الموارد النادرة، وذلك من بين عدد من المواضيع في علم المجتمع والإيكولوجيا والتطور.



مواضع مختلفة من السلاسل. وعندما حصلنا على ما كنا نريده من معلومات وضعنا كلا من السلطعونات في حوض ملأناه بالماء البارد مع مجموعة كبيرة مختارة من الأصداف الفارغة. وبعد أن انتقى كل من الحيوانات صدفة ليسكنها، أعدناها جميعا إلى الشاطئ وأطلقناها.

وهكذا وجدنا أن السلطعونات كانت تنتقل عادة إلى أصداف أكبر. وتبين لنا كذلك أن السلاسل التي بدأناها انطلاقا من أصداف كبيرة كانت أطول – إذ كانت تسمح لعدد أكبر من السلطعونات بالحصول على أصداف جديدة – من تلك التي بدأناها انطلاقا من أصداف صغيرة. ووجدنا أن ما بين اثنين إلى ثلاثة من القشريات انتقلت إلى أصداف جديدة ضمن السلاسل التي أطلقناها – 2.5 وسطيا. ويسبب هذا الرقم خيبة أمل للبعض. إذ يتوقعون أن يكون أكبر من ذلك – بحيث ينتفع 10 أو حتى 50 سلطعونا من كل سلسلة. ولكنني أعتقد أن هذا الرقم كبير إذا نظرنا إليه بصورة صحيحة. فمن المعتاد عندما نفكر في المنافسة تحت أيٍّ من الظروف، أن نفترض فوزَ فرد واحد أو مجموعة واحدة، بينما يبوء الفرد الآخر أو المجموعة الأخرى بالفشل. ولكن في سلاسل الشواغر، حتى القصيرة منها، فإن أكثر من سلطعون واحد يحرز مسكنا جديدا. ولو حصل اثنان من السلطعونات الناسكة على أصداف جديدة فإن هذا الرقم يمثل ضعف ما يمكن للفرد الحصول عليه في عملية تنافس اعتيادية.

بعد إنجاز دراساتنا نشرت تقارير حول سلاسل الشواغر في أنواع أخرى من السلطعون الناسك تضمنت سلطعون اليابسة الكاريبي الناسك الذي يباع أحيانا لتربيته كحيوان أليف. ومن أغرب النماذج التي دُرست حلزون مفترس يهاجم أصنافا أخرى من الحلزونات، بما فيها بعض الحلزونات التي يرغب السلطعون الناسك في استحواذ أصدافها؛ حيث يمسك الحلزون المفترس ضحيته ويحفر ثقبا في صدفتها بلسانه الذي يشبه المبرد ليحقن من خلاله إنزيما هاضما، في حين تتجمع حوله السلطعونات الناسكة التي جذبتها رائحة المواد الكيميائية المنبعثة من الحلزون الجريح. وعندما يسحب الحلزون المفترس ضحيته من صدفتها – وهي عملية قد تستغرق ما يقارب الساعة – يقتحم أقربُ السلطعونات الناسكة الصدفةَ الشاغرة في حين يستولي سلطعون آخر على الصدفة التي أخلاها الأول، وهكذا دواليك. وبدلا من القيام بطقوس التحري الحذرة التي شهدناها في المختبر في لونگ آيلاند، فإن السلطعونات في موقع **جريمة قتل رخوية**[1] تتخذ قراراتها في فترات لا تتجاوز أجزاء من الثانية، إذ تنتقي مسكنها الجديد بالاعتماد على حاسة البصر وحسب. وهكذا، ينتفع كل واحد من المشاركين بسلسلة شواغر، لكنَّ فوريةَ المزاحمة تسرّع كل شيء.

وقد قام الباحثون مؤخرا باكتشافات أخرى مدهشة حول سلاسل شواغر لدى السلطعونات الناسكة. إذ تَبيّن أن السلطعونات تستثمر نمطين على الأقل من السلاسل: **متوانية** synchronous و**لامتوانية** asynchronous. وفي النمط الأخير (وهو الذي لاحظناه سابقا)، من المعتاد أن يعثر سلطعون واحد على صدفة شاغرة. أما في السلاسل المتوانية فإن السلطعونات تصطف بالترتيب التنازلي لحجم كل منها خلف السلطعون الذي يقوم بمعاينة صدفة فارغة. وحالما يُدخِل السلطعون الأول صدفته الجديدة في الصف يتلقف السلطعون التالي الصدفة التي أخلاها الأول وتتكرر العملية من أجل جميع السلطعونات المصطفة خلال ثوانٍ معدودة. ويشير هذا السلوك إلى حسن تدبير ينمّ عن إدراك مجتمعي متطور، خاصة من أجل حيوان يمتلك دماغا صغيرا وبسيط التكوين.

ولا يركز إلا قليل من الأبحاث على سلاسل الشواغر لدى حيوانات غير السلطعون الناسك، إلا أن المشاهدات الأولية توحي بأن الاستراتيجية ذاتها قد طوّرت لدى العديد من أنواع الحيوانات الأخرى. فعدة أنواع من الأخطبوط ومن **الأسماك القشرية** cichlid fish تسكن في أصداف الحلزون الشاغرة وتدافع عنها. فالبطلينوس يحتمي في شقوق بين الصخور، في حين يختبئ **السمك المهرج** clown fish بين **شقائق البحر** sea anemones. و**الجراد الشوكيّ** spiny lobsters يعيش في كهوف

(١) mollusk murder

باختصار

يستخدم علماء المجتمع والاقتصاد مصطلح «سلسلة الشواغر» للدلالة على التبادل المتتالي للموارد المتاحة، بحيث يتسنى لجميع المشاركين في هذا التبادل تحقيق منفعة ما.

وخلال العقود القليلة الماضية، جمع الباحثون أدلةً تشير إلى أن السلطعون الناسك - وربما بعض الحيوانات الأخرى - تستخدم سلاسل الشواغر أيضا.

وربما ساعدت دراسة السلوك الذي تنتهجه هذه الحيوانات على تحسين السبل التي نتبناها فيما بيننا في توزيع ممتلكات - كالشقق السكنية والسيارات - وكذلك الوظائف.

صغيرة ضمن الصخور والشعاب المرجانية. ونقار الخشب ذو العرف الأحمر ينحت الأعشاش في جذوع أشجار الصنوبر. وعندما تصير هذه المخلوقات أكبر حجما وسنا، تنشد مأوى أكثر ملاءمة، ونتيجة لذلك تولّد شواغر يمكن لحيوانات أخرى أن تقطنها. ويقوم البشر بالأمر ذاته.

ماذا يفعل الناس(*)

لقد أجريت أولى الدراسات حول سلاسل الشواغر لدى البشر في ستينات القرن الماضي في مانهاتن، على مسافة لا تتجاوز 60 ميلا من الشاطئ الذي راقبتُ عنده السلطعونات الناسكة تتبادل الأصداف. إذ أدرك المتوفى ‹F.كريستوف› [الذي كان يرأس آنذاك دائرة التخطيط والأبحاث التابعة لمجلس مدينة نيويورك] أن تشييد الشقق السكنية يؤدي إلى نشوء **سلسلة تفاعلات** chain reactions مكّنت العائلات من أن تنتقل من شقق صغيرة غير ملائمة إلى شقق أوسع تفي باحتياجاتها. وقد وجد ‹كريستوف› أن نسبة من العائلات تعادل 2.4 عائلة انتقلت من الشقق التي كانت تقطنها إلى شقق أفضل مقابل كل شقة سكنية يُجرى تشييدها. وقد درس الباحثون استنادا إلى ما توصل إليه ‹كريستوف› سلاسل شواغر تنشأ في سوق العقارات في الولايات المتحدة وخارجها. وقد اكتشفت أكثر هذه الدراسات شمولا من خلال تفحص سوق السكن الوطنية أن السلسلة الوسطية تساعد ما يعادل 3.5 عائلة على الانتقال من المنازل التي كانت تسكنها.

ولكن ‹كريستوف› لم يكن الشخص الوحيد الذي استثارته سلاسل شواغر في ستينات القرن الماضي. فالأستاذ ‹H. سوايت› [الذي كان حينذاك أستاذا لعلم المجتمع في جامعة هارڤارد] وهو في الواقع من صاغ المصطلح «سلسلة شواغر،» اكتشف بصورة مستقلة متتاليات مشابهة ضمن المجموعات الدينية - وبالتخصيص ضمن تجمعات كنسية تتبع المذاهب **الميثودية** Methodist و**المشيخية** Presbyterian و**الأسقفية** Episcopalian. فقد وجد ‹وايت› أن تقاعد أو وفاة أحد الواعظين أو افتتاح كنيسة جديدة أو قرار راعي الأبرشية تبديلَ مهنته أمور تولد جميعا سلاسل شواغر.

وقد قام عدد من علماء المجتمع والاقتصاد، مستندين إلى ما قام به ‹وايت›، بتحري سلاسل شواغر ضمن العديد من المهن: مدربي كرة القدم، شرطة الولاية، ضباط القوات المسلحة وحتى ضمن عصابات الاتجار بالمخدرات. كما وجد ‹وايت› وغيره من الباحثين أن 2.5 إلى 3.5 شخص ينتقلون ضمن السلسلة من الموضع الذي كانوا يشغلونه إلى مناصب جديدة هي أفضل عادة. ولكن **تأثير الدومينو** domino effect الذي تمثله تنقلات كهذه ليس بالشيء الجيد دائما. فقد كشفت أبحاث أجريت على عصابات المخدرات أن إلقاء القبض على تاجر مخدرات رفيع المستوى يولد بصورة تلقائية سلسلة شواغر طويلة تتيح الفرصة لكثير من العاملين في العصابة بالتقدم ضمن صفوف المنظمة غير المشروعة.

وقد تكون سلاسل الشواغر فاعلة عندما يبتاع الناس بعض أصناف السلع الاستهلاكية الرئيسة أيضا، وخاصة السيارات. وليس لدي علم بأية دراسة حديثة العهد حول هذا الموضوع، لكن بعض الأبحاث التي أجريت في الماضي تدلّ على ذلك. ففي عام 1941 أنجز ‹H. T. سميث› [الباحث في مضمار الأعمال] دراسة شاملة حول سوق السيارات الجديدة والمستعملة في الولايات المتحدة. ومع أنه لم يستخدم مصطلح «سلسلة شواغر» إلا أنه استنتج أن المبادلات التي تتم في هذه السوق ذات أهمية كبرى لصناعة السيارات. ففي مطلع القرن العشرين أدرك تجار السيارات أن عليهم شراء السيارة المستعملة التي يمتلكها الزبون الذي يود ابتياع سيارة جديدة لكي يتمكنوا من إبرام الصفقة بسهولة أكبر، ومن ثم يمكنهم بيع السيارة المستعملة لزبون آخر، وهكذا دواليك. واستنادا إلى بيانات ‹سميث›، أُقدر أن نحو ثلاثة أشخاص حصلوا على سيارات من خلال سلاسل الشواغر في المدة التي أجرى خلالها دراسته.

ولكن، لماذا تفيد سلاسل الشواغر ما يقارب ثلاثة أفراد أو مجموعات إن كانوا من أجناس مختلفة من السلطعون الناسك أو من البشر؟ إن حدسي يشير إلى وجود تشابه معين لم يتم اكتشافه حتى الآن بين **ديموغرافية**(١) البشر والسلطعون الناسك، قد يفسر هذه الظاهرة، التي ربما كانت مرتبطة بمعدلات الولادة والوفاة أو المعدلات التي يتم بها استحداث

(*) WHAT PEOPLE DO

(١) demagraphy: علم وصف السكان: (ذكور، إناث، مواليد، وفيات، غنى، فقر...). (التحرير)

واســتخدام الوحدات التي تمثل الموارد المتبادلة. وليس هذا أكثر من حدس أولي. ولكن من الواضح أن سلاسل الشواغر لدى البشــر والحيوانات كليهما لا تنشــأ من أجل أيٍّ صنف قديم من الحاجيات أو الموارد، بل إنها تتسنى من أجل موارد تتميز بمجموعة محددة من الخصائص.

بروز مبادئ السلسلة[*]

لقــد حدد ‹وايت› هذه المبــادئ. وأولها، أن تكون الموارد التــي يتم تبادلها مرغوبا فيهــا وأن يتصف الحصول عليها بصعوبة نسبية؛ فالشواغر في الوظائف والسيارات والمنازل ليست متاحة بأعداد كبيرة قابعة بانتظار من يأتي لاستحواذها دون مقابــل. والثاني، أن هذه الشــواغر هي من النوع الذي لا يمكن أن يشــغله فــي الوقت ذاته أكثر مــن فرد أو زمرة عائلية واحــدة؛ في حين يجري التخلي عن «وحدات الموارد» هذه عندما يســتحوذ مالكها وحدة جديدة. والأكثر أهمية في آخــر المطاف، أنــه ليس من الممكن اســتحواذ وحدة الموارد إلا عندمــا تصبح شــاغرة. ومع أن ‹وايــت› كان قد أجرى أبحاثه على البشــر، إلاّ أن المعالم التــي تَمكّن من تحديدها لتداولاتهم تصف تلك التي تحدث ضمن سلاســـل الشواغر عند السلطعون الناسك. **فالأصداف** shells نادرة نسبيا؛ ولا يمكن إلا لسلطعون واحد أن يسكن في إحداها. وتقريبا، فإن جميع السلطعونات البالغة تترك وراءها صَدفة عند حصولها على أخرى. كما أن على السلطعونات أن تنتظر حتى تصبح الصَدفات فارغة قبل أن تنتقل إليها.

إن التركيــز على المــوارد بذاتها يقلب رأســا على عقب الأســلوب المتبع في النظــر إلى توزعها. فعلمــاء الاقتصاد والمجتمع معنيون عادة بمن سيحصل على وحدة من وحدات المــوارد وما إذا كان توزيع المــوارد القيمة الذي يحصل في نهايــة المطاف، عادلا أم لا. فمثلا، نحن نتســاءل حول أهمية عوامــل كالذكاء أو **الإثنيــة** ethnicity أو مســتوى التعلم أو المركــز الاجتماعي، في الحصول علــى الوظائف أو المنازل. وهــذه جميعها عوامل مهمة بحد ذاتها. ولكنها تمنعنا أحيانا من اكتشــاف عمليــات أخرى لها أثر بالغ فــي الكيفية التي تتــوزع الموارد بموجبها، كما أنهــا يمكن أن تحجب **صفات مشتركة**[1] بين الأنواع.

وبما أن نوعية الموارد المتاحة تحدد معالم سلاسل الشواغر لــدى البشــر والحيوانات – بغــض النظر عن نــوع الأفراد المشــاركين في هذه السلاســل – فإن دراســة السلطعونات الناســكة قد توضح أســاليب يمكن بانتهاجها تعظيم الفوائد الناجمــة عن إعادة توزيــع الموارد في التجمعات البشــرية.



فمثلا، يمكن أن يقوم الباحثون بإعطاء السلطعونات الناسكة أصدافــا لهــا قياســات ومواصفات متباينة، وتغيير معــدلات توالدهــا ووفياتها و«ســن تقاعدها» وذلك بإضافة أو استبعاد السلطعونات، بحيث تتســنى بصــورة عامــة إدارة أفراد المجموعة وأصدافهم بغية تحديد الوضعيــات التي تؤدي إلى حركة الأفراد أو المجموعات نحو ســويات أفضل في عالمهم بأسرع صورة ممكنة. فمن وجهة نظر أخلاقية، يمكــن التلاعب بمجموعات من الســلطعونات الناســكة على نحــو لا نتقبله مــن أجل مجموعات البشــر. والآن نحن نلجأ إلى مختلــف المخلوقات الصغيرة لفهم ذاتنا – فنحــن ندرس ذباب الفاكهة للحصــول على معلومات قيمة حول الخصائــص **الوراثيــة** genetics التي نمتلكها؛ وندرس حلزون البحر لنتوصــل إلى معلومات محددة حول **الأســس الجزيئيــة** the molecular basis للذاكرة والتعلم. ويمكن اليوم أن تصبح التجارب المجراة على الســلطعونات الناســكة، من أولى المحــاولات الرامية إلى صياغة نمــاذج تمثل المنظومات الاجتماعية لدى البشر باستخدام حيوانات أبسط.

إن بعض الأنماط الاجتماعية هي أساسية لدرجة أن مخلوقات بدائية تشاطرنا هذه الأنماط.

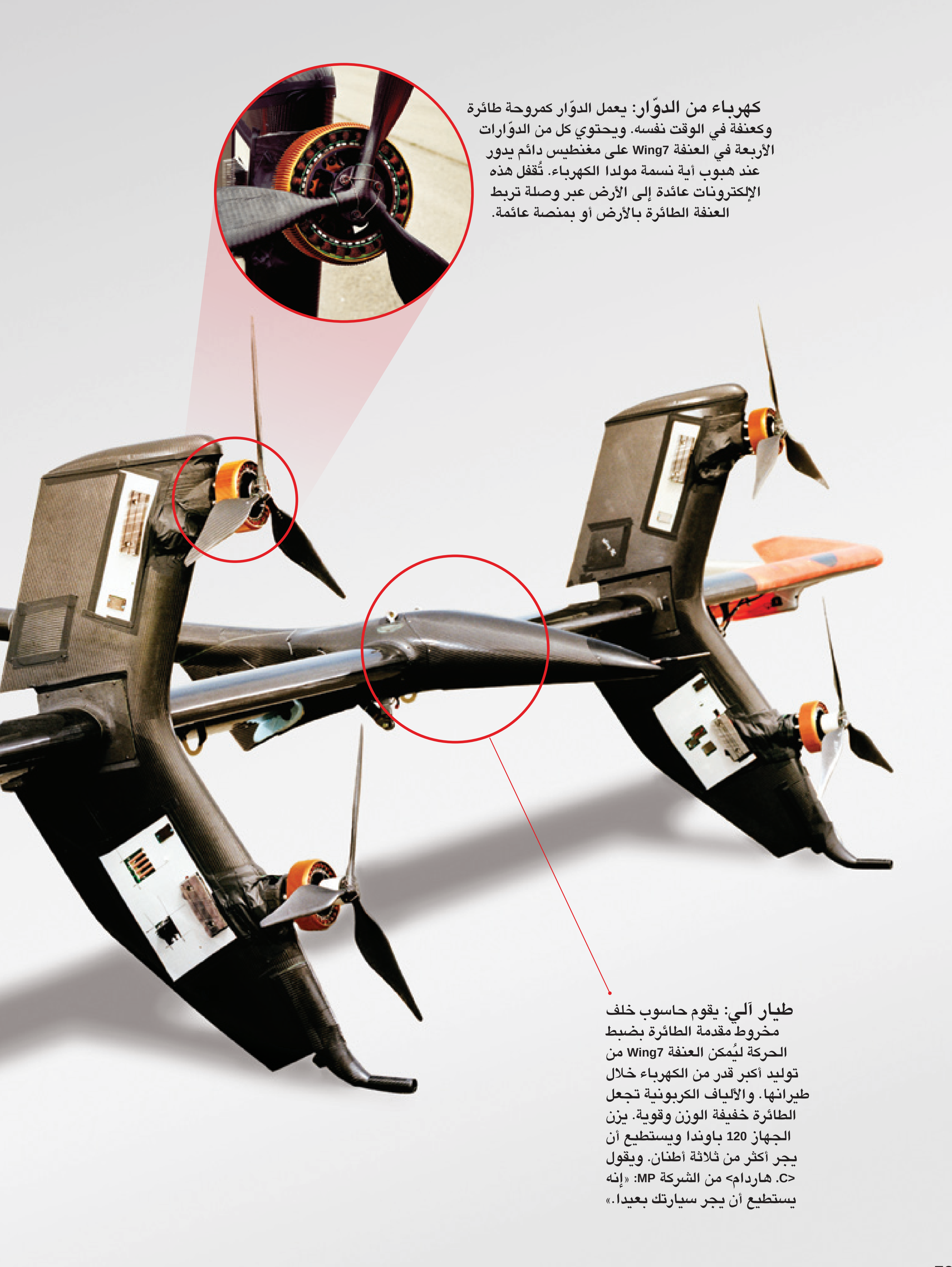
ومنــذ فتــرة وجيزة، عدت إلى الشــاطئ الــذي بدأت فيه تحرياتي لســلوك السلطعونات الناســكة. وبينما كنت أمشي باتجاه البركة التــي يحدثها المدّ أخذت أراقب الســلطعونات الناســكة تحبو ببطء على الرمل تحت سطح الماء ونظرت إليها بامتنان. فما بدأته بغية التسلية لإشباع فضولي كشف لي في نهايــة المطاف عن نظرة معمقة لصلات لم يكن بوســعي التنبؤ بها في ذاك اليوم الأول الذي أمضيته على شاطئ لونگ آيلاند. وأكثر ما أدخل البهجة إلى نفســي هو إدراكي أن بعض أنماط السلوك الاجتماعي التي نصادفها في حياتنا هي جوهرية إلى حد أننا نشترك فيها حتى مع مخلوقات بدائية. ■

(*) PRINCIPLES EMERGE
(١) commonalities

مراجع للاستزادة

Vacancy Chains. Ivan D. Chase in *Annual Review of Sociology*, Vol. 17, pages 133–154; 1991.
Forging the Vacancy Chain: Law Enforcement Efforts and Mobility in Criminal Economies. H. R. Friman in *Crime, Law & Social Change*, Vol. 41, pages 53–77; 2004.
Social Context of Shell Acquisition in *Coenobita clypeatus* Hermit Crabs. R. D. Rotjan, J. R. Chabot and S. M. Lewis in *Behavioral Ecology*, Vol. 21, No. 3, pages 639–646; 2010.

Scientific American, June 2012



كهرباء من الدوّار: يعمل الدوّار كمروحة طائرة وكعنفة في الوقت نفسه. ويحتوي كل من الدوّارات الأربعة في العنفة Wing7 على مغنطيس دائم يدور عند هبوب أية نسمة مولدا الكهرباء. تُقفل هذه الإلكترونات عائدة إلى الأرض عبر وصلة تربط العنفة الطائرة بالأرض أو بمنصة عائمة.

طيار آلي: يقوم حاسوب خلف مخروط مقدمة الطائرة بضبط الحركة ليُمكن العنفة Wing7 من توليد أكبر قدر من الكهرباء خلال طيرانها. والألياف الكربونية تجعل الطائرة خفيفة الوزن وقوية. يزن الجهاز 120 باوندا ويستطيع أن يجر أكثر من ثلاثة أطنان. ويقول <C. هاردام> من الشركة MP: «إنه يستطيع أن يجر سيارتك بعيدا.»

عنفة ريح طائرة[*]

تحوّل عنفة ريح طائرة نسمات البحر إلى كهرباء.

<B. بيللو>

حين يمسك راكب الأمواج بعنفة ريح، وهي عنفة تحركها قوة الريح، فإن الدفع القوي لرياح المحيط يستطيع أن يدفعه عبر سطح البحر بسرعة قد تصل إلى 55 ميلا في الساعة. وحاليا يحاول المهندسون الاستفادة من طاقة الرياح هذه في توليد الكهرباء، وما عنفة الريح Wing7 المصوّرة هنا إلا نموذج أولي لمتنافس رائد على هذا الهدف. فهذا الجهاز خفيف الوزن ويعمل باستقلالية، فهو مربوط بالأرض أو بمنصة عائمة وعندما تزداد سرعة الرياح فإن أربعة **دوّارات** rotors تطير به على ارتفاع يزيد على 820 قدما في مسار دائري عمودي على اتجاه الرياح. وباندفاع الهواء السريع عبر الجناح المصنوع من ألياف الكربون، تقوم الدوّارات بتدوير مغانط دائمة لتوليد الكهرباء. يقول مهندس الميكانيك <C. هاردهام> [الرئيس التنفيذي وأحد مؤسسي الشركة (MP)[1]، وهي الشركة الصانعة للعنفة Wing7]: «إن الدوّارات تعمل في الوقت نفسه كمروحة طائرة propeller وكعنفة». كما أن حاسوبا يحمله الجهاز يعمل بشكل مستمر على ضبط هذا الجهاز.

وتعود فكرة توليد الكهرباء بواسطة عنفة ريح طائرة إلى عدة قرون مضت، وهي تهدف إلى تجنب تقلب الرياح قرب سطح الأرض. وثمة محاولات حديثة تعود إلى سبعينات القرن الماضي على الأقل، منها محاولة الحصول على الطاقة عبر الطيران ضمن **التيار النفاث** jet stream في الغلاف الجوي. وتنوي الشركة MP التغلب على هذا التحدي بتصميم عنفات ريح طائرة لتعمل فوق المحيط، حيث تهب الرياح بشكل ثابت إلى حد ما وحيث تغطي هذه العنفات حيزا واسعا من السماء في طيرانها الدائري، مما يُمَكن الرياح الخفيفة نسبيا والتي تعجز عادة عن تحريك عنفات عادية من أن تُسرّع هذه العنفة الطائرة الخفيفة المربوطة، لتصل إلى سرعة تتجاوز 100 ميل في الساعة، وتجعلها تولّد الكهرباء.

إن إمكانية استخدام جزء من طاقة الرياح التي لا تكون عادة في متناول أعلى عنفات الريح الأرضية قد جذبت دعما مستمرا من الشركة Google ووكالة مشاريع الأبحاث المتقدمة في مجال الطاقة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية وغيرها. وتستطيع عنفة الريح Wing7 حاليا توليد 30 كيلوواط من الطاقة – وهو مقدار أقل بقليل من محرك سيارة عادي. وتخطط الشركة MP لتطوير ونشر أول أجهزتها القادرة على توليد 600 كيلوواط – أي ما يشبه عنفة ريح أرضية صغيرة – وذلك بحلول عام 2016. ■

<**D. بيللو**>، محرر مشارك في ساينتفيك أمريكان

(*) KINETIC KITE
(١) Makani Power

Scientific American, October 2012

تتمة الصفحة 73 (عين أقدر على العاصفة)

نقاط البيانات تتطلب حواسيب فائقة أكثر سرعة.

إن تحقيــق تقــدم فــي نمذجة الأحــوال الجويــة يتطلب أشــخاصا موهوبين بإمكانهم إدخال جميع هذه البيانات في النموذج وتفسيرها. ويرأس <B. لابينتا> [مدير مركز النمذجة البيئيــة في الإدارة NOAA] جهود التفســير هذه التي تعالج عددا كبيــرا من التنبؤات الجوية لمــدة 12 و24 و36 و48 و72 ســاعة، وقبل ذلك وبعده. ويقوم اختصاصيون في الأرصاد الجوية بمقارنة نماذج الإدارة NOAA بنماذج أخرى وضعتها مراكز نمذجة دولية ليخرجــوا بتنبؤات تُعرض على الإنترنت أو في نشرات الأخبار المسائية.

وبإمــكان الحواســيب الفائقــة لــدى الإدارة NOAA والموجودة فــي مدينة فيرمونت بولايــة فيرجينيا أن تجري 73.1 تريليــون عملية حســابية في الثانيــة الواحدة. ولكن <لابينتــا> يعتقد أنّ تحقيق ســرعات أكبر أمر ممكن، الأمر الذي سيمكن النماذج من أن تعمل حتى على ساحات أصغر في الشبكة. وعلى سبيل المثال، فإن الشبكات التي مساحة كل ســاحة فيها ميل مربع واحد فقط، من شــأنها أن تمكّن النماذج مــن محاكاة ظروف صغيرة تغيّــر عاصفة رعدية أو إعصارا مطريــا عاديين إلى قوة مهددة. وتخطط الإدارة NOAA لإدخال بعض أحدث الحواسيب الفائقة إلى المختبر الوطني في أوك ريدج[1] للبدء ببناء مثل هذه النماذج. ويأمل <لابينتــا> بأن تبدأ مثل هذه النمــاذج العالية الميز بالظهور بحلول عام 2020.

ويتوقــع <لابينتــا> أن يأتي يوم في العقــد القادم عندما يكــون فيه بالإمكان الجمع بين القــدرات المتزايدة للرادارات والسواتل الجديدة وبين جيل متطور من نماذج تفصيلية للتنبؤ بالأحوال الجوية يمكن إدخالها في الحواسيب فورا بسرعات تتجــاوز تقديراتهــا **كوينتيليــون** quintillion (=10^{18}) نتيجة حاســوبية في الثانية. ومن أجل جعل ذلك حقيقة واقعة يعمل العلماء مثل <لابينتــا> على العلاقات الرياضياتية والفيزيائية و**البيوجيوكيميائيــة**[2] التــي تحتــاج إلى **تكويــد** encode بطريقة تمكّن تلك العلاقات من العمل معا على نحو محكم.

وإذا ما أعطت استثمارات رئيسية للإدارة NOAA في هذه "**البرمجيــات الدماغيــة**" brainware ثمارهــا فلن يكون على المتنبئــين الجويين أن ينتظروا صورة الرادار لكي يكتشــفوا عاصفــة فعلية، قبل أن يصدروا تحذيــرا بمهلة زمنية قدرها 14 أو 18 دقيقــة. وبــدلا من ذلك، ســيكون بإمكانهم إصدار تحذيرات بحــدوث زوبعة وعاصفة رعدية شــديدة وفيضان مفاجئ، مبنية على نموذج تنبؤ عالي الدقة جرى إنتاجه بشكل مســبق، مما يعطي الجمهور ما بين 30 إلى 60 دقيقة لاتخاذ احتياطات الأمان اللازمة.

علم أفضل، قرارات أفضل[*]

مع جميع تلك التحسينات سيكون اختصاصيو الأرصاد الجوية، مثل <G. كونــت> [في مركز تنبؤ (الأحوال الجوية) بمدينة نيويورك] قادرين على أن يتنبؤوا بصورة أدق وبفترة تحذير أطول بأخطــار الأحوال الجوية التي يمكن أن تؤدي إلى إغلاق المدينــة، كالعواصف المصحوبة بالثلج والجليد. وســوف تمتد فترة توقع أحــوال جوية عنيفة قبل أن تحدث إلى خمســة أيام والتنبؤ بالأعاصير المطرية إلى سبعة أيام، أما خطــر الفيضانات الربيعية، فســيعرف قبــل حدوثها بأسابيع. وهذه الرؤية لبلد مستعد لمواجهة أخطار الأحوال الجوية، مبعثها الرغبة في تجنب الكوارث العنيفة كتلك التي حدثت عام 2011.

والهــدف من ذلك هو أن تحصل مدينــة جوبلين المزدهرة والمتجــددة بحلول عام 2021 على تحذيــر بتوقع زوبعة عنيفة قبل أكثر من ساعة من حدوثها. عندها سُيتاح للعائلات وقت أطــول للتجمع واللجوء إلى غرفة آمنة. كما ســيكون بإمكان بيوت حضانة الأطفال والمستشــفيات نقل المقيمين والمرضى فيها إلى الملاجئ. وســيتاح لأصحاب المتاجر الوقت الكافي لنقل موظفيهم إلــى أماكن آمنة وإغــلاق متاجرهم. وفضلا على ذلك ســوف يتلقى حاملو الهواتــف الخلوية العديد من الرســائل النصية التــي تدعوهم إلى اللجــوء إلى الملاجئ، فيما يذيــع اختصاصيو الرصد الجــوي المحليين تحذيرات مماثلة عبر محطــات التلفزة والإذاعة. كما أن دَوِيَّ صفارات الإنذار بحدوث زوبعة من شــأنه أن يحث الناس على ضرورة الاستعجال بالاســتجابة لهذه التحذيرات. ونتيجة لذلك كله، فإنــه حتى عند حدوث أقوى زوبعة للطبيعة، ســوف تمر عبر مدينة دون أن تُحدِث فيها أي خسارة في الأرواح. ■

(*) BETTER SCIENCE, BETTER DECISIONS
(١) Oak Ridge National Laboratory
(٢) biogeochemical

مراجع للاستزادة

NOAA National Weather Service: http://weather.gov
NOAA Storm Prediction Center: www.spc.noaa.gov
Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special IPCC report. Edited by C. B. Field et al. Cambridge University Press (in press).

Scientific American, May 2012



اقتصادات فترة الركود

تبرّع بدماغك، تُوفّر مَالَكَ(*)

إن الأوقات الصعبة تجعل فكرة التبرع بالأنسجة أكثر إغراءً.

لقد غيرت فترة الركود الاقتصادي العظيم الطريقة التي يعيش بها العديد من الناس، ويبدو أن انعكاساتها قد غيرت قضية اختيار بعض الناس لطريقة دفنهم.

فعلى أقل تقدير، شهد بنكان شهيران للأنسجة البشرية، تزايدا في عدد الأفراد المهتمين بالتبرع بأجسادهم من أجل البحث العلمي، وذلك في مقابل تخفيض مهم لتكاليف مراسم دفنهم.

فمعهد بانر سان للأبحاث الصحية بالقرب من فينيكس يستقبل عادة نحو 1000 استعلام كل سنة عن التبرع بالأنسجة؛ ولكن هذا العدد قد تزايد بنسبة 15% منذ بداية فترة الركود الاقتصادي في عام 2008؛ كما استطالت قائمة انتظار المتبرعين. ويقول <B. براون>، المتحدث الرسمي للمعهد: «إن المعهد يستخدم الأنسجة المتبرع بها في الأبحاث العلمية التي تجرى على داء ألزهايمر وداء پاركنسون وغيرهما من الأمراض، وأن مدخرات الناس التقاعدية قد تراجعت مما يعني أن معاشاتهم صارت أقل مما كانت عليه رواتبهم، كما بدأت أسعار منازلهم بالانهيار. ولذلك أخذوا في البحث عن طرق بديلة [لعمل الترتيبات الخاصة بدفنهم]» علما بأن التوفير في تكاليف عملية **حرق الجثمان حتى يصير رمادا**(1)، والتي بدأ الناس بالإحجام عنها لغلائها، يمكن أن يتراوح فيما بين 1000 و 1500 دولار أمريكي.

كما أن مكتب تسجيل هبات **التشريح غير الربْحي**(2) في گلين بورني بمريلاند، الذي يُؤَمِّن الأنسجة للأبحاث الطبية؛ قد لاحظ تزايدا في الاتصالات الهاتفية للراغبين في التبرع من 150 إلى 250 وصولا إلى 400 اتصال في الشهر. ويتجه الناس الآن إلى هذا الاختيار بسبب ارتفاع نفقات الدفن، كما يقول <B. باردزلي> [نائب الرئيس التنفيذي لمكتب التسجيل] الذي يعْزو أيضا هذا الارتفاع إلى تدهور النشاط التجاري. وقد حاول <باردزلي> أيضا التفاوض مع مجهزي دفن الموتى لمساعدة الأسر الفقيرة غير القادرة على تحمل التكاليف الكاملة للدفن. وهكذا، فإن توفيرا صغيرا في تكاليف الدفن يمكن أن يتحول إلى مساهمة قيّمة من أجل العلم. ■

<G. ستيكس>

(*) DONATE YOUR BRAIN, SAVE A BUCK
(1) cremation
(2) the Anatomy Gifts Registry

كَشّاف موضوعات مجلة العلوم
2012

نورد في هذا الكشاف المقالات التي نشرت في **العلوم** عام 2012 (المجلد 28)، ونضع إلى يسار عنوان كل مقالة (*رقم العدد - رقم الصفحة*).
وقد تم ترتيب هذه المقالات *ألفبائيا* ضمن تخصصاتها المعروضة في الإطار أدناه مرتبة *ألفبائيا* أيضا بعد إهمال «أل» التعريف وكلمة «عِلْم» ومشتقاتها:

ابتكارات	التطور	علوم طبية وصيدلانية	**أبواب ثابتة**
إبداع	تقانة	علوم عصبية	
علم الأرصاد الجوية	تنوع حيوي	فيزياء، رياضيات	أخبار علمية
استدامة	جيولوجيا [علوم الأرض]	كوسمولوجيا [علم الكون]	تقدمات
علوم بيئية	علم الحياة	كيمياء	متفرقات
بيولوجيا	سلوك الحيوان	علم النبات	
بيولوجيا مجتمعية	طاقة		

ابتكارات
• أفكار تغير العالم (65 - 2/1)
• عرّاف محترف (56 - 8/7)

إبداع
• ومضات داخلية (26 - 2/1)

علم الأرصاد الجوية
• عين أقدر على العاصفة (66 - 12/11)

استدامة
• كثير من الغذاء، قليل من الطاقة (44 - 8/7)
• هل يمكننا إطعام العالم والمحافظة على كوكبنا؟ (24 - 8/7)

علوم بيئية
• اضربهم بعصا الهوكي (71 - 10/9)
• بعد الطوفان (32 - 8/7)

بيولوجيا
• احتفال بجوائز نوبل (54 - 4/3)
• أذكى نوع بكتيري على كوكب الأرض (38 - 2/1)
• خبيرة بتقدير سلامة الخلية (68 - 4/3)

بيولوجيا مجتمعية
• ما الحياة إلا لعبة صَدَفة؟ (74 - 12/11)

التطور
• الأول من شاكلتنا (20 - 10/9)
• لماذا نساعد (48 - 12/11)

تقانة
• إزاحة غُمّة بالغة الشدة (60 - 8/7)
• أفكار تغير العالم (4 - 4/3)
• الجين المدمر (30 - 4/3)
• قِسم ما قبل وقوع الجريمة (74 - 6/5)
• قَطْعُ الاندماج النووي المفقودة (12 - 12/11)
• الوِب الظل (22 - 6/5)

تنوع حيوي
• أي الأنواع سيستمر في الحياة؟ (42 - 12/11)

جيولوجيا [علوم الأرض]
• ثروات أفغانستان الدفينة (16 - 2/1)
• عملاق هاجع (66 - 4/3)

علم الحياة
• سبيل جديد لعمر مديد (48 - 6/5)

سلوك الحيوان
• بوصلة في الداخل (14 - 8/7)
• الجرذ الذي ضحك (46 - 10/9)
• النمل وفنون الحرب (30 - 6/5)
• وُلدت قاتلة بالفطرة (50 - 8/7)

طاقة
• استثمار الرياح مصدرا للطاقة المتجددة (26 - 12/11)
• الحقيقة حول التصديع الهيدرولي (72 - 4/3)
• عنفة ريح طائرة (78 - 12/11)
• الوعد الخادع للوقود الحيوي (4 - 2/1)

علوم طبية وصيدلانية
• بارقة أمل لمرضى التليّف الكيسي (4 - 2/1)
• للبدانة خمسة أخطار خفية (22 - 8/7)
• جدل واسع النطاق حول سرطان البروستاتة (66 - 6/5)
• حليف جديد ضد السرطان (40 - 4/3)
• شبكة التواصل الاجتماعي النهائية (4 - 12/11)
• صد هجوم فيروس العوز المناعي البشري (HIV) (58 - 12/11)
• طب الغد (34 - 12/11)
• العالِم المريض (8 - 6/5)
• العلاج الأفضل (14 - 4/3)
• في انتظار الانفجار (50 -10/9)
• قلوب مُخبرة (58 - 6/5)
• مقاومة مقاتل (16 - 10/9)

علوم عصبية
• العقل المبتهج (20 - 12/11)
• كيف يمكن تنشئة متعلم أفضل (80 - 4/3)
• ما السِّر في أن دماغ أي شخص لا نظير له (36 - 8/7)
• متلازمة التصادم (58 - 10/9)
• مفاتيح مخفية في العقل (8 - 10/9)

فيزياء، رياضيات
• عُرى وأشجار والبحث عن فيزياء جديدة (38 - 10/9)
• علم الهالة القُزَحَة (60 - 6/5)
• العيش في عالم كمومي (30 - 2/1)
• في انتظار جسيم هيگز (46 - 4/3)

كوسمولوجيا [علم الكون]
• تنقيب عن الحياة على المريخ (4 - 8/7)
• فتى الفيزياء المشاكس (12 - 2/1)
• قراءة الكوكب الأحمر (4 - 10/9)
• هل الكون المتعدد موجود حقا؟ (66 - 8/7)

كيمياء
• شَمُّ أفكارك (54 - 2/1)
• عشرة ألغاز لم تحل بعد (45 - 2/1)
• قوة الذرة (44 - 2/1)

علم النبات
• ماذا يشم النبات (54 - 12/11)

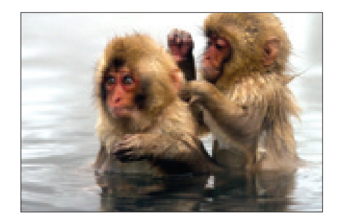
أبواب ثابتة

أخبار علمية
• أدوات للحياة (81 - 6/5)
• إماتة الإدمان (74 - 8/7)
• التصدي للديدان الحاسوبية (90 - 4/3)
• محصول يُنتج من مياه المجارير (90 - 4/3)
• مشكلة الإحساس بالحرقة (74 - 8/7)
• مكتسبات وراثية (81 - 6/5)
• وضع الجنون في موضعه الصحيح (90 - 4/3)

تقدمات
• تبرع بدماغك، توفر مَالَكَ (81 - 12/11)

متفرقات
• تجارب على التفكير (4 - 6/5)
• مجد عظيم... في السباق إلى القطب الجنوبي (16 - 6/5)
• اختراق فيروسي للشبكة يطفئ الأنوار (22 - 4/3)
• حارس الفراعنة (40 - 2/1)
• مستقبل الشوكولا (42 - 6/5)
• صيغة حسابية لحل الأزمة الاقتصادية (36 - 6/5)
• الآلات التي تفكّر لنفسها (66 - 10/9)
• عندما يُلْمِعُ الخطأ إلى طريق الصواب (32 - 10/9)

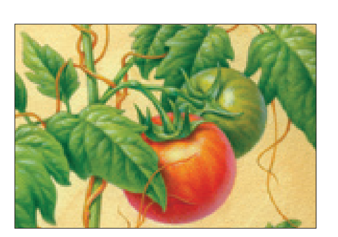
48



EVOLUTION
Why We Help
by Martin A. Nowak

Along the evolutionary path to *Homo sapiens*, cooperation has played as big a role as competition has.

54



BOTANY
What a Plant Smells
by Daniel Chamovitz

Botanists are beginning to appreciate the myriad ways plants respond to one another biochemically.

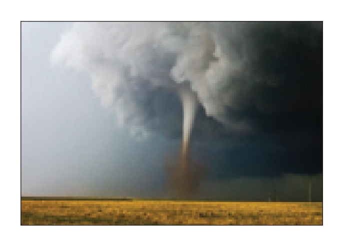
58



MEDICINE
Blocking HIV's Attack
by Carl June - Bruce Levine

Scientists are beginning human trials of a treatment that holds promise for eliminating the virus from the body.

66



METEOROLOGY
A Better Eye on the Storm
by Jane Lubchenco - Jack Hayes

Radars, satellites and computers may soon give weather forecasters enough advanced warning to save many more lives.

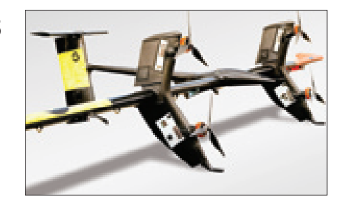
74



SOCIOBIOLOGY
Life Is a Shell Game
by Ivan Chase

Like people, hermit crabs and other animals trade up by treasuring what others leave behind.

78



ENERGY
Kinetic Kite
by David Biello

An airborne wind turbine turns sea breezes into electricity.

81 **Advances**

- Donate Your Brain, Save a Buck

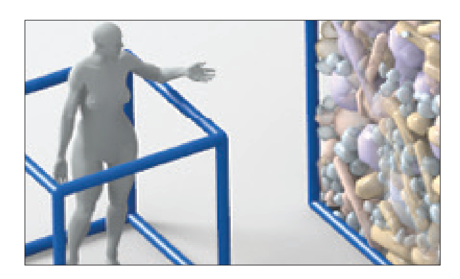
82 **Subject Index 2012**

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag


Majallat AlOloom November / December - 2012 Volume 28 Number 11/12 SCIENTIFIC AMERICAN

4 

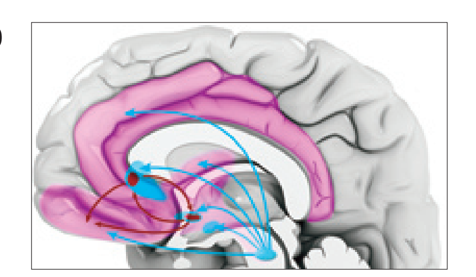
MEDICINE
The Ultimate Social Network
by Jennifer Ackerman

Friendly bacteria that live in our bodies and on our skin profoundly affect our health.

12 

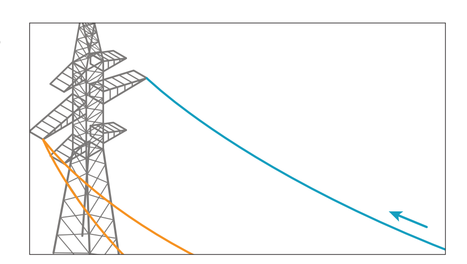
TECHNOLOGY
Fusion's Missing Pieces
by Geoff Brumfiel

On the road to unlimited energy, the world's most complex nuclear experiment hit some major potholes.

20 

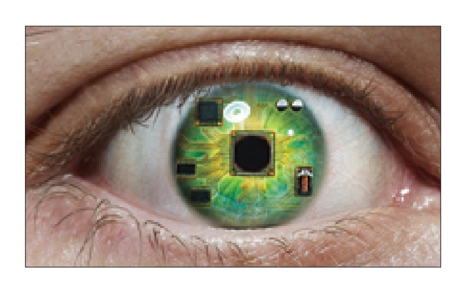
NEUROSCIENCE
The Joyful Mind
by Morten L. Kringelbach - Kent C. Berridge

Neuroscientists are teasing out the brain circuits that give us pleasure and also play a role in addiction and depression.

26 

ENERGY
Gather the Wind
by Davide Castelvecchi

If renewable energy is going to take off, we need good ways of storing it for the times when the sun isn't shining and the wind isn't blowing.

34 

FUTURE HEALTH SPECIAL REPORT
Tomorrow's Medicine

Get ready for faster, cheaper gene sequencers, chips that restore vision, nanoparticles that find and treat cancer, implantable devices that monitor your health, and blood tests that help to diagnose mental illness.

42 

BIODIVERSITY
Which Species Will Live?
by Michelle Nijhuis

Like battlefield medics, conservationists today have to decide which creatures to save and which to let go.

صدر حديثا عن

المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر بدمشق(*)

كتاب وأطلس

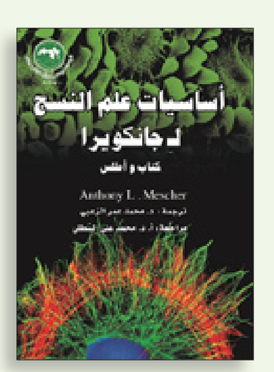
أساسيات علم النسج لِـ جانكويرا

Junqueira's

Basic Histology

Text & Atlas

الطبعة الثانية عشرة



تأليف: **Prof. A. L. Mescher**

ترجمة: **د. محمد عمر الزعبي**

مراجعة: **أ. د. محمد علي السطلي**

لعدة عقود، ظل هذا الكتاب رائدا في قدرته على شرح وظيفة الخلية وبنية الأنسجة البشرية. وقد حُدِّث عدة مرات ليتضمن آخر الأبحاث في حقله؛ وعُزز بالكثير من الأشكال التوضيحية الملونة، مع صور مجهرية حديثة للمقاطع النسيجية. كما يتضمن الكتاب **فصلا تمهيديا** مهما للطرائق المختبرية المطبقة لدراسة الأنسجة، **وآخر** للتطبيقات الطبية التي توضح الارتباط السريري لكل موضوع.

يُعدُّ هذا الكتاب مرجعا علميا متميزا ومعتمدا في العديد من الجامعات العالمية لطلبة العلوم الطبية وأقسام البيولوجيا الجزيئية الخلوية والنسيجية والكيمياء الحيوية. فهو يغطي كل موضوع بشكل مقتضب ولكنه وافٍ، متضمنا المعلومات النسيجية المطلوبة لهؤلاء الطلبة.

إنه بالتأكيد إضافة قيمة إلى المكتبة العلمية العربية.

(*) ص.ب: 3752 دمشق (سوريا)
هاتف: 678433311 (369+)
فاكس: 899033311 (369+)
البريد الإلكتروني: acatapalecso@gmail.com

كتاب

نظرية الكشف والتقدير وتطبيقاتها

Detection and Estimation Theory and its Applications



تأليف: **Prof. Th. A. Schonhoff & A. A. Giordano**

ترجمة: **د. عمر أحمد شابسيغ**

مراجعة: **د. محي الدين وايناخ**

مع ازدياد الاهتمام البالغ بالاتصالات اللاسلكية في كافة مناحي الحياة، وازدياد الطلب على الطيف الكهرطيسي، ثمة مساع حثيثة لاستخلاص المعلومات من الإشارات اللاسلكية؛ وقد تطورت هذه العملية إلى إيجاد طرائق لتقدير برامترات (معاملات) الإشارات اللاسلكية، وهذا أحدث ما يسعى إليه علم اللاسلكي.

ينقسم الكتاب إلى **أربعة أقسام:**

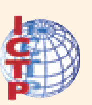
يغطي **القسم الأول** في فصوله الثلاثة الأسس الاحتمالية والإحصائية.

ويغطي **القسم الثاني** في ستة فصول نظرية الكشف.

أما **القسم الثالث** فيعرض في خمسة فصول نظرية التقدير، التي تُعد في معظم معلوماتها فتحا جديدا في علم الاتصالات، باللغة العربية بشكل خاص، وهذه النظرية هي الأساس الذي مكَّن من تحقيق التطورات الحديثة في علم الاتصالات.

ويختتم الكتاب فصوله الخمسة من **القسم الرابع** بدراسة بعض أهم التطبيقات في نُظُم الاتصالات الحديثة، لم تطرح من قبل في كتاب عربي!

ومما لا شك فيه أن هذا الكتاب يعد إضافة قيمة إلى المكتبة العلمية العربية ومرجعا علميا مهما لطلبة الجامعات والباحثين في مجال الاتصالات، حيث يجدون فيه مرتكزا نظريا لا غنى عنه في علم الاتصالات.

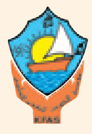


The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)(*)

Trieste - Italy

GRANTS مِنَح

مقدمة من قِبَل



مؤسسة الكويت للتقدم العلمي(**)

Kuwait Foundation for the Advancement of Sciences (KFAS)

لتمكين الباحثين في الجامعات ومراكز الأبحاث العربية من المشاركة في الأنشطة العلمية

لمركز عبدالسلام الدولي للفيزياء النظرية

(تريستا (إيطاليا))

تتيح الاتفاقية المعقودة منذ عام 1981 بين «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» و «**مركز عبدالسلام الدولي للفيزياء النظرية بتريستا**» للباحثين في الجامعات ومراكز الأبحاث العربية المشاركة في أنشطة هذا المركز من خلال المنح المقدمة من قِبَل مؤسسة الكويت للتقدم العلمي.

تغطي كل منحة نفقات سفر المرشح و/أو مصاريف إقامته في مدينة تريستا (إيطاليا) لفترة تتحدد بفترة النشاط المشارك فيه على ألا تزيد على ثلاثين يومًا.

وعلى المتقدم أن يملأ طلبا خاصًا يمكن الحصول عليه من المركز ICTP أو من المؤسسة KFAS، وترسل نسخة من هذا الطلب إلى المركز وأخرى إلى المؤسسة.

ويجري اختيار المرشحين لهذه المنح من قبل المركز ICTP بالتشاور مع المؤسسة KFAS.

(*) Strada Costiera11, 34014 Trieste, Italy
Tel. +39 040 2240 111; Fax +39 040 224 163
sci_info@ictp.it, www.ictp.it

(**) ص.ب 25263 الصفاة 13113 الكويت
هاتف: 41407222 (569+)
فاكس: 22270411 (965+)
E-mail:oip@kfas.org.kw
www.kfas.org